

Process for determining the thickness of a layer of electroconductive material deposited on a body

Patent number: DE19652750
Publication date: 1998-07-02
Inventor: DOBLER KLAUS DR (DE); HACHTEL HANSJOERG (DE); DIMKE REINHARD (DE); HEIDE FRANZ AUF DER (DE); BLATTERT RICHARD (DE); WEBER JOSEF DR (DE)
Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)
Classification:
 - International: G01B7/06; G01D5/20
 - european: G01B7/10C
Application number: DE19961052750 19961218
Priority number(s): DE19961052750 19961218

Also published as:

WO9827400 (A1)
 EP0891532 (A1)
 US6198278 (B1)
 BR9707547 (A)
 EP0891532 (B1)

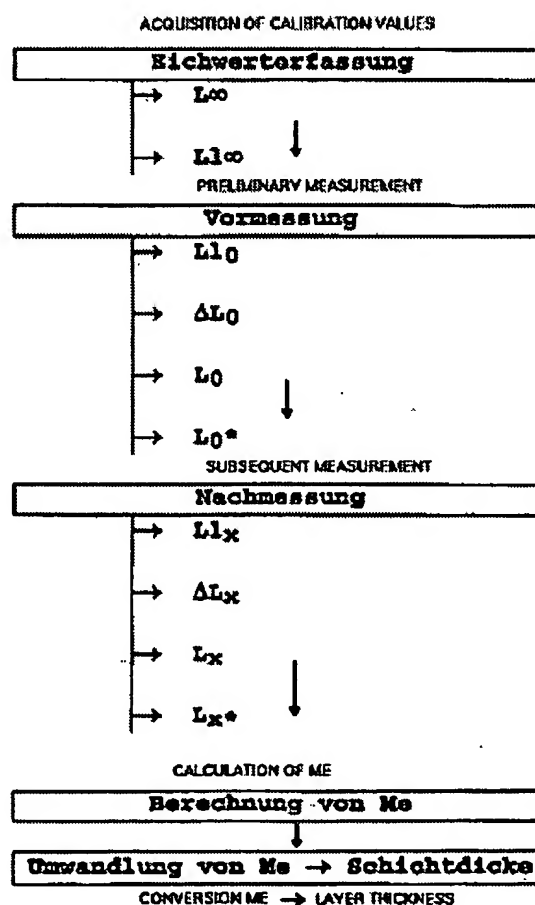
more >>

also included

Report a data error here

Abstract of DE19652750

In a process for determining the thickness of a layer of electroconductive material, the measurement errors are converted into dimensionless standardised values by a standardisation process. During this conversion, measurement errors, for example due to temperature drift and different electric and magnetic properties of the basic material of which the backing body is made, can be largely eliminated. These standardised values are converted into layer thickness values by means of a calibration curve.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑲ Aktenzeichen: 196 52 750.3
⑳ Anmeldetag: 18. 12. 96
㉑ Offenlegungstag: 2. 7. 98

㉒ **Anmelder:**
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉓ **Erfinder:**
Dobler, Klaus, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Hachtel,
Hansjoerg, 71287 Weissach, DE; Dimke, Reinhard,
70195 Stuttgart, DE; Heide, Franz auf der, 96123
Litzendorf, DE; Blattert, Richard, 71711 Murr, DE;
Weber, Josef, Dr., 71739 Oberriexingen, DE

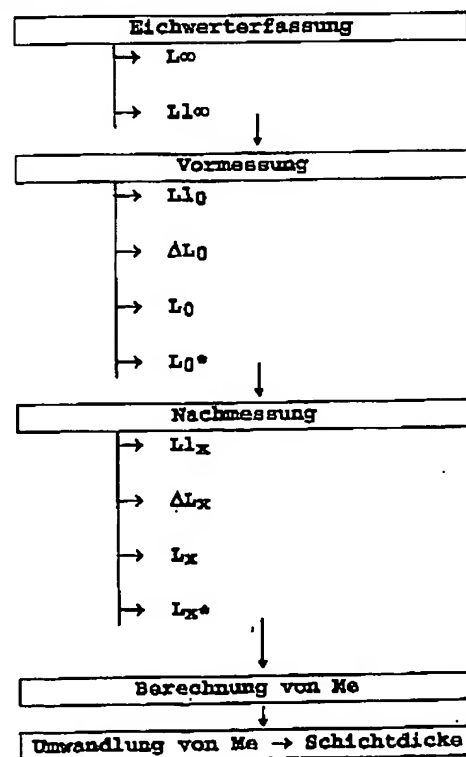
㉔ **Entgegenhaltungen:**
DE 43 27 712 A1
DE 41 19 903 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material**

⑤7 Bei einem Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material werden die Meßfehler mit Hilfe eines Normierungsverfahrens in dimensionslose Normwerte umgewandelt. Bei dieser Umwandlung können Meßfehler, zum Beispiel durch Temperaturdrift und unterschiedliche elektrische und magnetische Eigenschaften des Grundstoffs des Trägerkörpers weitgehend eliminiert werden. Mit Hilfe einer Eichkurve werden diese Normwerte in Schichtdickenwerte umgewandelt.



Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material, insbesondere einer Chromschicht. Bisher werden in der Praxis verchromte Teile zum Beispiel mit dem Röntgenfluoreszenz-Verfahren gemessen. Dieses Verfahren ist aber teuer und zeitaufwendig. Auch wird die sogenannte Induktiv-Meßmethode angewandt. Hierbei sind aber auf der Oberfläche nur punktförmige Messungen möglich, die für einen Einsatz in der Praxis eine sehr hohe Positioniergenauigkeit erfordern. Bei beiden Verfahren ist es aber relativ schwierig, auftretende Meßfehler zu eliminieren.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß auftretende Meßfehler weitgehend eliminiert werden können.

Insbesondere in einer Massenproduktion hergestellte beschichtete Teile können in einem kontinuierlich durchlaufenden Meßverfahren überprüft werden. Eventuelle Schwankungen der stofflichen Beschaffenheit des Grundstoffes und zum Beispiel durch Verschmutzung bzw. Abrieb bewirkte Unterschiede des Abstandes zwischen der Meßspule und dem zu bestimmenden Meßobjekt können eliminiert werden. Dadurch ist eine sehr zuverlässige und eindeutige Aussage über die Dicke der zu bestimmenden Schicht möglich.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im unabhängigen Anspruch angegebenen Verfahrens möglich.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die Fig. 1 zeigt einen schematischen Aufbau der Meßvorrichtung, in der Fig. 2 ist der Verlauf der Induktivität L der Meßspule über die Dicke a der zu bestimmenden Schicht bei unterschiedlichen Abständen und bei unterschiedlicher stofflicher Beschaffenheit α bzw. β des sich unter der zu bestimmenden Schicht befindlichen Materials dargestellt. In der Fig. 3 ist das Verhältnis der in Fig. 2 verwendeten unterschiedlichen Abstände zwischen der Meßspule und dem Meßobjekt dargestellt. Fig. 4 zeigt den Verlauf der Normwerte Me über der Schichtdicke a . Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild des Verfahrens und Fig. 6 den Verlauf der Normwerte Me über der Schichtdicke a . Fig. 7 zeigt ein weiteres Blockschaltbild einer Abwandlung des Verfahrens und Fig. 8 eine Abwandlung des beim Meßverfahren verwendeten Eichkörpers und Fig. 9 eine Abwandlung des beim Meßverfahren verwendeten Meßkörpers.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Das erfindungsgemäße Meßverfahren beruht auf dem sogenannten Induktiv-Wirbelstrommeßprinzip. In der Fig. 1 ist ein dafür verwendeter Sensor 10 konstruktiv dargestellt. Der Sensor 10 ist in der Ausnehmung 11 eines Grundkörpers 12 angeordnet und besteht aus einem Spulenkörper 13 auf dem eine von einem hochfrequenten Wechselstrom, zum Beispiel 4 MHz, durchflossene Spule 14 angebracht ist. Die Spule 14 kann zum Beispiel als Flachspule oder Ringspule ausgebildet sein. Der Spulenkörper 13 besteht vorzugsweise aus elektrisch nicht leitendem und nicht ferromagnetischem Material, zum Beispiel Kunststoff, und wird nahezu reibungsfrei in der Ausnehmung 11 geführt. Das zu überwachende Bauteil 17 ist in einen Führungskörper 18 eingebracht, der das Bauteil 17 und die Spule 14 zueinander positioniert. Mit Hilfe einer Feder 19 wird der Spulenkörper 13 und somit die Spule 14 gegen die Oberfläche 20 des Bauteils 17 gedrückt. Die Oberfläche 20 weist die zu bestimmende Schicht auf. Beim Bauteil 17 kann es sich zum Beispiel um den Stutzen eines Einspritzventils handeln, wobei die Schicht 20 dann eine Chromschicht darstellt. Fließt durch die Spule 14 ein Wechselstrom, so wird ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, das sowohl die Chromschicht 20 als auch die darunterliegende Materialschicht aus ferromagnetischem Material des Bauteils 17 durchdringt. In der Chromschicht 20 wirkt dann nur der Wirbelstromeffekt, während im ferromagnetischen Material des Grundkörpers 17 der Induktiv- und Wirbelstromeffekt wirksam sind. Im folgenden werden nun die jeweiligen Meßeffekte einzeln erläutert, die auftreten würden, wenn das jeweilige andere Teil nicht vorhanden wäre. Wird die Spule 14 von einem Wechselstrom durchflossen und erfährt das magnetische Wechselfeld der Spule nur ein elektrisch gut leitendes aber nicht ferromagnetisches Material, d. h. nur die Chromschicht 20 würde vom magnetischen Wechselfeld der Spule erfaßt, so wirkt nur der sog. Wirbelstromeffekt. Aufgrund der sich in dem elektrisch gut leitenden, aber nicht ferromagnetischen Material ausbildenden Wirbelströme ergibt sich eine Verminderung der Induktivität der Spule 14.

Im folgenden wird nun die Wirkung des magnetischen Feldes der von einem Wechselstrom durchflossenen Spule 14 auf das ihr gegenüberliegende ferromagnetische Material, d. h. auf das Material des Grundkörpers 17 beschrieben. Das magnetische Wechselfeld der von dem Wechselstrom durchflossenen Spule erfaßt das Material des Grundkörpers 17. Es sei darauf hingewiesen, daß bei elektrisch leitendem und ferromagnetischem Material sowohl der ferromagnetische Effekt als auch der Wirbelstromeffekt wirkt. Während der Wirbelstromeffekt eine Verminderung der Induktivität der Meßspule hervorruft, bewirkt der ferromagnetische Effekt eine Erhöhung der Induktivität der Meßspule. Welcher von beiden Effekten überwiegt, ist primär von der Frequenz des Wechselstroms, der die Spule 14 durchfließt, und von der Stoffbeschaffenheit des Grundkörpers 17 abhängig. Überträgt man diese beiden Meßeffekte auf den Grundkörper 17 mit der Chromschicht 20, so läßt sich feststellen, daß je dicker die Chromschicht 20 ist, desto schwächer bildet sich das Magnetfeld aus und damit ist die Induktivität der Spule 14 schwächer. In der Fig. 2 ist mit α_1 eine entsprechende Meßkurve dargestellt, die den abnehmenden Verlauf der Induktivität der Meßspule 14 über die zunehmende Dicke der Chromschicht

20 darstellt.

Der Verlauf der Meßkurve der Induktivität L über der Schichtdicke a hängt aber von der stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers 17, d. h. zum Beispiel von dem elektrischen Widerstand, der Permeabilität des Materials und vom Abstand zwischen der Spule 14 und der Oberfläche 20, die gemessen werden soll, ab. Verändert sich zum Beispiel bedingt durch Verschmutzungen oder durch Abnutzung des Spulenkörpers der Abstand zwischen der Meßspule 14 und der Chromschicht 20, so ergeben sich unterschiedliche Kennlinien des Verlaufs der Induktivität L über der Schichtdicke a . In der Fig. 2 sind hier verschiedene Beispiele dargestellt. Die Kennlinien $\alpha 2$, $\alpha 3$ und $\alpha 4$ stellen hierbei den Verlauf der Induktivität L über der Schichtdicke a bei unterschiedlichem Abstand zwischen der Meßspule und der zu überwachenden Chromschicht aber bei gleicher stofflicher Beschaffenheit des Grundkörpers 17 dar. In der Fig. 3 ist hierbei die Größe des Abstandes α zwischen der Spule 14 und der zu überwachenden Chromschicht 20 dargestellt. Es ist ersichtlich, daß der Abstand von $\alpha 1$ zu $\alpha 4$ immer größer wird. Würde man hingegen die stoffliche Beschaffenheit des Materials des Grundkörpers 17 verändern, so würden sich die Kennlinien $\beta 1$ bis $\beta 4$ ergeben. Die Kennlinien $\beta 1$ bis $\beta 4$ bedeuten wiederum eine Variation des Abstands zwischen der Meßspule und der zu überwachenden Chromschicht bei einer zweiten stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers. Aus dem Diagramm nach der Fig. 2 ist erkenntlich, daß einem gemessenen Induktivitätswert L eine Vielzahl möglicher Schichtdicken zugeordnet werden kann. Statt der Induktivität kann auch der Wechselstromwiderstandswert der Spule ausgewertet werden.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren ermöglicht nun auch eine eindeutige Zuordnung zwischen den gemessenen Induktivitätswerten L der Meßspule 14 und der Dicke a der Chromschicht 20, wenn sich die stoffliche Beschaffenheit des Grundkörpers 17 und/oder der Abstand zwischen der Meßspule 14 und der Oberfläche der zu bestimmenden Chromschicht ändert. Kern des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, eine Normung durchzuführen, die auftretende Meßfehler eliminiert und einen eindeutigen zuordbaren Meßwert ermittelt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Dicke einer Schicht wird in mehreren Meß- und Auswertungsschritten durchgeführt. Vor der Beschichtung des Grundkörpers 17 wird in einer sog. Vormessung ein Induktivitätswert L_0 der Spule 14 ermittelt. Hierbei sitzt die Spule 14 möglichst direkt auf der noch unbeschichteten der Spule zugewandten Oberfläche (Meßfläche) des Grundkörpers 17 auf. Es erfolgt somit nur eine Messung gegenüber dem Material des Grundkörpers 17. Die Größe des Induktivitätswerts L_0 hängt von der Beschaffenheit des Grundkörpers ab, insbesondere von dessen magnetischen und elektrischen Eigenschaften. Diese Beschaffenheit des Grundkörpers 17 kann in einer Serienfertigung schwanken. Deshalb ist der Induktivitätswert L_0 zu Beginn der Messung für jeden einzelnen Grundkörper 17 zu ermitteln und auch zuordbar in einem Datenspeicher abzuspeichern.

Anschließend wird nun der Grundkörper 17 in einer entsprechenden Beschichtungsanlage mit einer Chromschicht 20 versehen. Danach erfolgt eine zweite Messung, d. h. eine sog. Nachmessung, die an derselben Stelle des Grundkörpers 17 wie die oben erwähnte Vormessung durchgeführt wird. Dabei ergibt sich ein Induktivitätswert L_X der Meßspule 14. Die Größe des Induktivitätswerts L_X wird u. a. von der Dicke der Chromschicht 20 und von der stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers 17 bestimmt. Es ist sicherzustellen, daß beide ermittelten Induktivitätswerte L_0 bzw. L_X jeweils eindeutig demselben Grundkörper 17 zuzuordnen sind. Diese beiden Induktivitätswerte L_0 bzw. L_X werden nun mit Hilfe eines Algorithmuses in Normwerte umgeformt, d. h. in dimensionslose Kennzahlen, die einer entsprechenden Schichtdicke zuordbar sind. Um diese Normwertbildung durchführen zu können, muß der Induktivitätswert L_∞ ermittelt werden. Diesen Induktivitätswert L_∞ erhält man, wenn an einem Eichkörper eine Messung ausschließlich gegenüber einer Chromschicht durchgeführt wird. Die Oberfläche des Eichkörpers muß dabei eine so dicke Chromschicht aufweisen, daß sie das gesamte Magnetfeld der Spule abschirmt, so daß im ferromagnetischen Grundstoff des Eichkörpers weder der induktive noch der Wirbelstromeffekt sich auswirken kann. Gegebenenfalls könnte beim Eichkörper an Stelle von Chrom auch ein anderer elektrisch leitender, jedoch nicht ferromagnetischer Stoff als Ersatz verwendet werden. Entsprechend der Gleichung 1 wird nun der Normwert Me ermittelt. Der Faktor 1000 kann beliebig zwischen Null und Unendlich variiert werden.

$$(1) \quad Me = 1000 \cdot \frac{L_X - L_0}{L_\infty - L_0}$$

Me = Meßwert/Normwert

L_0 = Induktivitätswert (unbesch. Grundkörper)

L_X = Induktivitätswert (beschichtetes Teil)

L_∞ = Induktivitätswert (Eichkörper aus Chrom)

In der Fig. 4 ist nun der Verlauf γ der entsprechend der Gleichung (1) normierten Meßwerte Me über der Schichtdicke a dargestellt. Die verschiedenen in der Fig. 2 dargestellten Kurven ergeben einen nahezu zusammenfallenden Verlauf γ der jeweils ermittelten Normwerte Me . Es ist ersichtlich, daß in der Fig. 4 gegenüber der Fig. 2 eine eindeutige Zuordnung eines Normwerts Me zu einer Dicke der Schicht 20 möglich ist.

Mit Hilfe der Gleichung 1 wurden bisher die Fehler nahezu eliminiert, die durch unterschiedlich große Abstände zwischen der Meßspule und der zu bestimmenden Schicht und durch unterschiedliche magnetische bzw. elektrische Eigenschaften des Materials des Grundkörpers 17 entstehen. Es ist aber auch noch möglich, den Einfluß der unter anderem durch Temperaturschwankungen entstehenden sog. Offsetdrift auf das Meßergebnis zu unterdrücken. Hierzu ist auch der Induktivitätswert der Meßspule zu erfassen, der sich ergibt, wenn die Meßspule ausschließlich gegen Luft mißt, d. h. wenn ihr weder eine Chromschicht noch irgendein Bauteil gegenüberliegt. Dieser Meßwert wird im folgenden als Urluftwert $L_{l\infty}$ bezeichnet. Er wird ermittelt kurz vor oder nachdem (möglichst zeitgleich) der Induktivitätswert L_∞ mit Hilfe eines Eichkörpers ermittelt wird. Dieser Wert $L_{l\infty}$ stellt einen Basiswert dar, der für die nachfolgenden Messungen jeweils verwendet wird. Während der individuellen Messung des einzelnen Grundkörpers 17 wird kurz vor oder nach der oben erwähnten sog. Vormessung, d. h. möglichst zeitgleich zur Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 der Spule ein Induktivitätswert L_l ermittelt, der entsteht, wenn die Meßspule wiederum gegen Luft mißt. Anschließend erfolgt zum Bei-

spiel in einem Mikrocomputer eine Differenzbildung $\Delta L_0 = L_{l0} - L_{l\infty}$. Mit Hilfe dieses Wertes ΔL_0 werden nun korrigierte Induktivitätswerte $L_0^* = L_0 - \Delta L_0$ errechnet. Sinngemäß ist auch bei der Messung des Induktivitätswertes L_X der korrigierte Meßwert L_X^* zu ermitteln. Hierbei wird zeitlich kurz vor oder nach der oben erwähnten sog. Nachmessung, d. h. kurz vor oder nach der Ermittlung des Wertes L_X der Induktivitätswert der Spule gegenüber Luft erfaßt, der mit L_{lX} bezeichnet wird. Der Wert der Spule gegenüber Luft ist hier nochmals zu ermitteln, da ein zeitlicher Unterschied und somit eine Temperaturschwankung zwischen der Erfassung des Induktivitätswertes der Spule gegenüber Luft bei der sog. Vormessung und bei der sog. Nachmessung vorhanden sein kann. Der einmal ermittelte sog. Urfußwert $L_{l\infty}$ kann sowohl bei der Korrektur des Induktivitätswertes L_0 bzw. des Induktivitätswertes L_X über einen längeren Zeitraum verwendet werden. Auch ist es ausreichend, wenn der Induktivitätswert $L_{l\infty}$, der den Induktivitätswert einer Messung ausschließlich gegenüber einer Chromschicht darstellt, nur intervallartig aufgenommen wird und für längere Zeit in einer Datenbank gespeichert wird. Wird aber der Induktivitätswert $L_{l\infty}$ neu aufgenommen, um z. B. eine langsame und kontinuierliche Veränderung des Abstands zwischen der Meßspule und dem Meßobjekt (z. B. Abrieb) zu berücksichtigen, so ist gleichzeitig auch der sog. Urfußwert $L_{l\infty}$ zu erneuern. Um nun bei der Normwertbildung auch die Offsetdrift des Meßergebnisses, die durch Temperaturschwankungen hervorgerufen wird, zu berücksichtigen, ist die Gleichung 2 zu verwenden.

$$(2) \quad Me = 1000 \cdot \frac{(L_X - (L_k - L_{l\infty})) - (L_0 - (L_{l0} - L_{l\infty}))}{L_{l\infty} - (L_{l0} - L_{l\infty})}$$

Bei Austausch eines Sensors müssen der Induktivitätswert $L_{l\infty}$ und L_{l0} neu aufgenommen werden. Erfolgt der Austausch zwischen Vor- und Nachmessung muß auch bei der Nachmessung der alte Bezugswert $L_{l\infty}$ verwendet werden.

Bei manchen Materialien für den Grundkörper 17 ändern sich über längere Zeitabläufe betrachtet die elektrischen und magnetischen Werte des Materials des Grundkörpers. Diese Veränderung, d. h. Drift, kann bei jedem zu bestimmenden Meßkörper unterschiedlich groß sein, da diese Drift neben der Stoffbeschaffenheit auch von der individuellen Wärmebehandlung, die vor dem Verchromen erfolgt, abhängt. Für die Aufnahme von Justierkennlinien, siehe Fig. 4, werden deshalb Eichkörper, wie sie in der Fig. 8 dargestellt sind, hergestellt. Der Eichkörper 30 weist zwei Stirnflächen 31 und 32 auf. Die Meßfläche 31 besteht hier aus dem unbeschichteten Grundstoff und die Meßfläche 32 ist mit der Chromschicht versehen. Beide Meßflächen 31 und 32 sind aber formgleich. Die Dicke der Chromschicht, die auf die Meßfläche 32 aufgebracht ist, ist bekannt. Der bei der Eichung mit diesem Eichkörper 30 ermittelte Normwert ändert sich nicht oder nur unwesentlich, auch wenn sich die elektrischen und magnetischen Eigenschaften des Grundstoffes, bedingt durch Alterungsprozesse verändern. Vorausgesetzt ist hierbei eine homogene Änderung der magnetischen und elektrischen Eigenschaften des Grundstoffes über den gesamten Eichkörper.

Im folgenden werden die einzelnen Meß- und Berechnungsschritte nochmals anhand des Diagramms nach Fig. 5 aufgelistet. Das Meßverfahren läuft, wie erläutert grob, in drei Schritten ab, einer sog. Eichwerterfassung, einer sog. Vormessung und einer sog. Nachmessung. In der Eichwerterfassung wird der Induktivitätswert $L_{l\infty}$ erfaßt, der ausschließlich gegenüber dem Material (bzw. dessen Ersatzstoff) bestimmt wird, dessen Dicke ermittelt wird, wobei die Stärke des Eichkörpers vorzugsweise größer als die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes der Meßspule ist. Anschließend wird der Induktivitätswert L_{l0} ermittelt, der den Induktivitätswert der Meßspule gegenüber Luft möglichst im Zeitpunkt der Erfassung des Werts $L_{l\infty}$ darstellt.

Nun beginnt der sog. Vormessungsabschnitt.

3. Erfassung des aktuellen Induktivitätswertes der Spule gegenüber Luft L_{l0}
4. Differenzbildung $\Delta L_0 = L_{l0} - L_{l\infty}$.
5. Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 , d. h. des Induktivitätswertes gegenüber dem unbeschichteten Grundkörper.
6. Ermittlung des korrigierten Werts L_0^* entsprechend der Differenzbildung $L_0^* = L_0 - \Delta L_0$

Nun folgen die Berechnungsschritte der sog. Nachmessung:

7. Ermittlung des Induktivitätswertes der Spule gegenüber Luft L_{lX}
8. Bilde die Differenz $\Delta L_X = L_{lX} - L_{l\infty}$
9. Ermittlung des Induktivitätswertes L_X
10. Ermittlung des korrigierten Wertes L_X^* durch Differenzbildung: $L_X^* = L_X - \Delta L_X$
11. Durchführung der Normwertberechnung entsprechend der Gleichung mit den Werten $L_{l\infty}$, und L_X^* bzw. L_0^*
12. Umwandlung des unter 11 ermittelten Normwertes in eine Schichtdicke mit Hilfe einer Eichkurve.

In einer Abwandlung des Verfahrens wird der Induktivitätswert L_0 nicht mehr bei jedem einzelnen Bauteil individuell gegenüber diesem ermittelt, sondern nun mit Hilfe eines Eichelements gemessen und abgespeichert. Dieses Justierteil darf aber seine elektrischen und magnetischen Eigenschaften während der Betriebsdauer der Anlage nicht verändern. Der Induktivitätswert $L_{l\infty}$ wird wie oben beschrieben ermittelt. Im folgenden werden nun die Meßschritte entsprechend Fig. 7 dargelegt, wobei zur Vereinfachung und aus Übersichtlichkeitsgründen die Korrektur der Drift der Temperatur nicht berücksichtigt ist. Für diese Abwandlung des Verfahrens ist es erforderlich, für jedes Material eine eigene Umwandlungseichkurve entsprechend Fig. 6 aufzunehmen, die mit den gleichen unter Schritt 1 verwendeten Eichelementen aufgenommen sind.

Schritt 1

1. Aufnahme des Induktivitätswerts L_{∞} und Speicherung in Datenbank
2. Aufnahme des Induktivitätswertes L_0 gegenüber einem Eichelement und Speicherung in Datenbank.

5

Schritt 2

3. Ermittlung des Induktivitätswerts L_0 an einem unbeschichteten Bauteil
4. Errechnung des Normwerts M_e mit Hilfe der Gleichung 1 bei Schichtdicke Null.
5. Auswahl der materialbezogenen Umwandlungseichkurve gemäß Fig. 6.

10

Schritt 3

6. Ermittlung des Induktivitätswerts L_x an einem beschichteten Bauteil
7. Berechnung des Normwertes mit Hilfe der Gleichung 1
8. Umsetzung der Normwerte in Schichtdickenwerte mit Hilfe einer ausgewählten Eichkurve.

15

Anzumerken ist, daß bei dem Verfahren gegenüber dem beim Stand der Technik verwendeten Wirbelstromverfahren bzw. Induktivverfahren die Meßspule von einem hochfrequenten Wechselstrom, z. B. 4 MHz durchflossen wird. Dabei ergeben sich kleinere Spuleninduktivitäten. Es ist kein Spulenkern erforderlich, so daß eine variable und preiswerte Bauweise möglich ist.

20

Durch Einsatz eines sog. Multiplexers ist es möglich, viele Meßteile in kurzer Zeit vermessen zu können. Hierbei sind viele Meßspulen gleichzeitig den zu bestimmenden Meßflächen zugeordnet. Kurzzeitig nacheinander werden von einer Meßbrücke mittels des Multiplexers diese Meßflächen abgetastet. Dies ist möglich, auch wenn mit der oben erwähnten hohen Meßfrequenz von z. B. 4 MHz die Induktivitätswerte ermittelt werden.

25

In der Fig. 9 ist eine weitere Ausgestaltung der konstruktiven Anordnung nach Fig. 1 dargestellt. Die im Verfahren beschriebene Erfassung des Induktivitätswerts L_0 (Messung der Spule gegenüber unbeschichtetem Bauteil) kann auch mit einer separaten zweiten Meßspule 40 erfolgen. Hierzu muß nach der Verchromung, d. h. nach Aufbringen der Schicht, deren Dicke zu messen ist, auf der Oberfläche des zu überwachenden Bauteils noch eine nicht beschichtete Zone vorhanden sein. Bei dem in der Fig. 9 dargestellten Bauteil 41 ragt ein Fortsatz 44 des Spulenkörpers 42 in eine Bohrung 43 des Bauteils 41. Die Wandung der Bohrung 43 ist hierbei nicht mit der zu bestimmenden Chromschicht bedeckt. Mit Hilfe der Spule 40 kann nun die elektrische und magnetische Eigenschaft des Grundkörpers ermittelt werden, während gleichzeitig mit Hilfe der Meßspule 14 eine Messung gegenüber der zu bestimmenden Chromschicht erfolgen kann. Mit Hilfe dieses Sensors ist es möglich, daß das Bauteil nur einmal auf dem Sensor positioniert werden muß, so daß eine noch kürzere Taktzeit entsteht.

35

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht (20) aus elektrisch leitendem Material, die auf einem Körper (17) aus ferromagnetischem Material aufgebracht ist, mit Hilfe mindestens einer von einem Wechselstrom durchflossenen Meßspule (14), deren Induktivitätsänderung ausgewertet wird, wobei folgende Meßschritte ablaufen:

40

- Ermittlung des Induktivitätswerts L_{∞} der Spule (14) bei einer Messung ausschließlich gegenüber einer Schicht aus dem elektrisch leitenden Material
- Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 der Spule (14) bei einer Messung ausschließlich gegenüber einem Körper aus dem ferromagnetischen Material
- Ermittlung des Induktivitätswertes L_x der Spule (14) bei einer Messung gegenüber der zu bestimmenden Schicht (20)
- Umwandlung in einen dimensionslosen Wert M_e
- Umwandlung des Werts M_e mit Hilfe einer Eichkurve in einen Schichtdickenwert.

50

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der dimensionslose Wert M_e mit Hilfe der Gleichung ermittelt wird:

$$M_e = A \cdot \frac{L_x - L_0}{L_{\infty} - L_0}$$

55

L_0 = Induktivitätswert unbesch. Grundkörper

L_x = Induktivitätswert beschichtetes Teil

L_{∞} = Induktivitätswert ausschließlich gegenüber Schicht

A = Faktor

60

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Induktivitätswert L_0 gegenüber einem Eichteil ermittelt wird, daß ein Normwert M_e bei einer Schichtdicke Null gebildet wird, mit dem die zugehörige Umwandlungskurve ausgewählt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der dimensionslose Wert M_e mit Hilfe der Gleichung ermittelt wird:

65

$$(2) \quad M_e = A \cdot \frac{(L_x - (L_l - L_{l\infty})) - (L_o - (L_{lo} - L_{l\infty}))}{L_{l\infty} - (L_o - (L_{lo} - L_{l\infty}))}$$

L_{lx} : Induktivitätswert gegenüber Luft vor oder oder nach der Erfassung von L_x

L_{lo} : Induktivitätswert gegenüber Luft vor oder oder nach der Erfassung von L_o

$L_{l\infty}$: Induktivitätswert gegenüber Luft vor oder oder nach der Erfassung von L_{∞}

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Spule (14) von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ermittlung des Induktivitätswerts L_o und des Induktivitätswerts L_x an einem Eichkörper (30) mit homogener Materialzusammensetzung erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Induktivitätswert L_o und der Induktivitätswert L_x mit Hilfe jeweils einer eigenen Meßspule (14, 40) nahezu gleichzeitig ermittelt wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

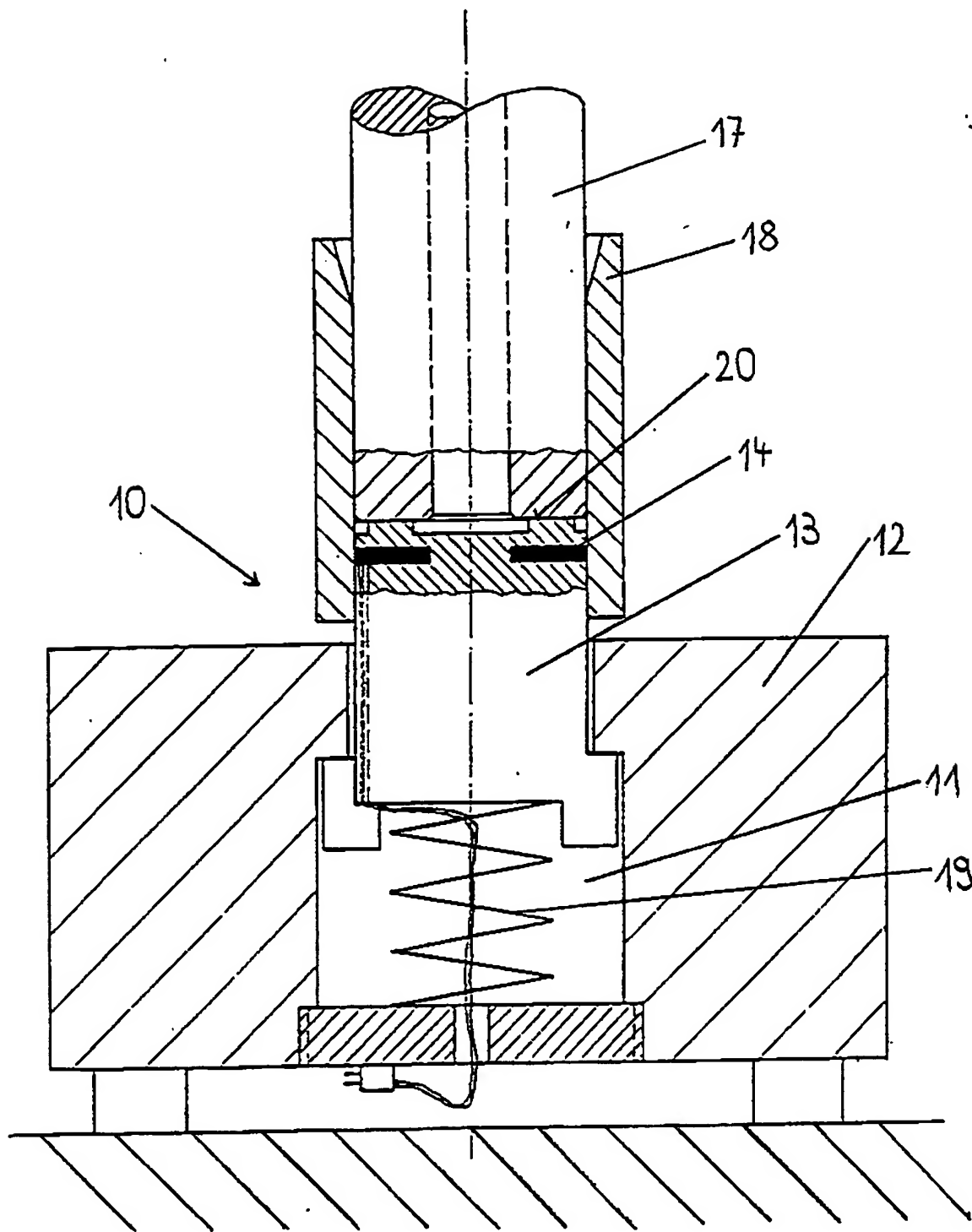


FIG. 1

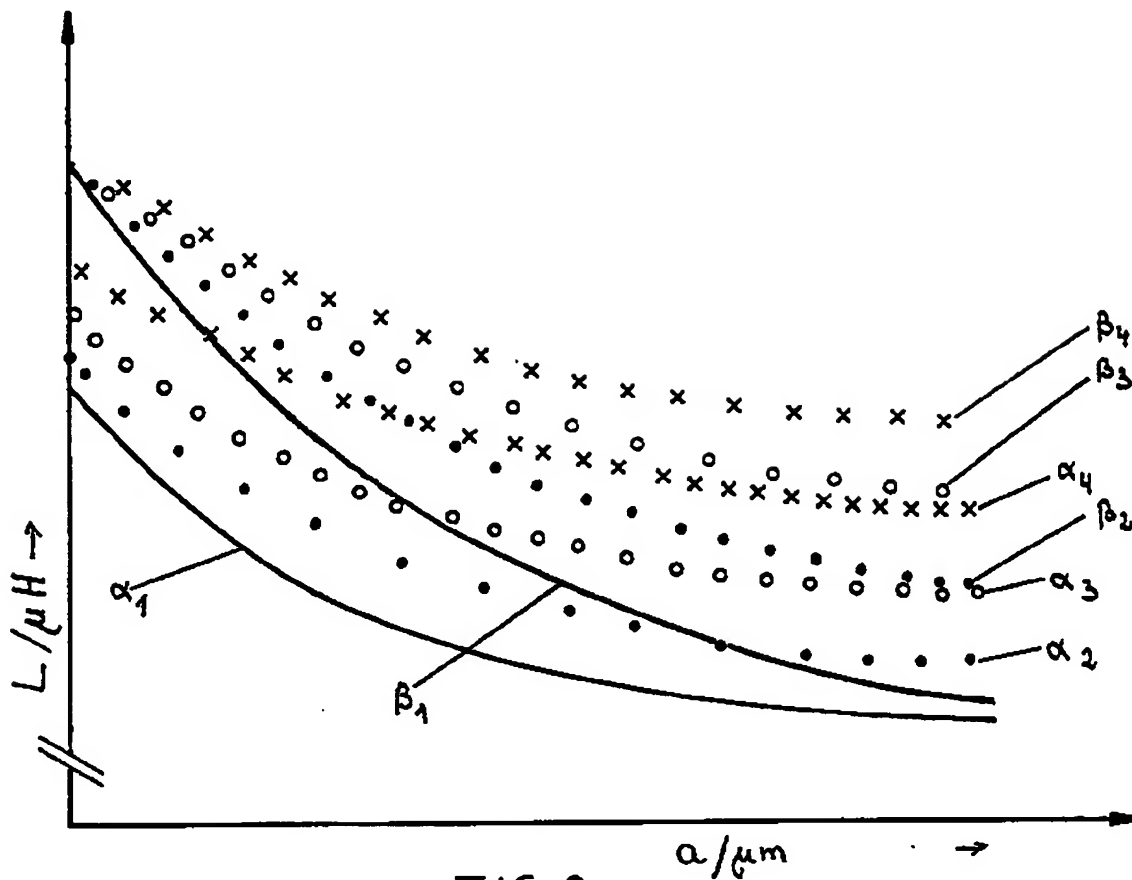


FIG. 2

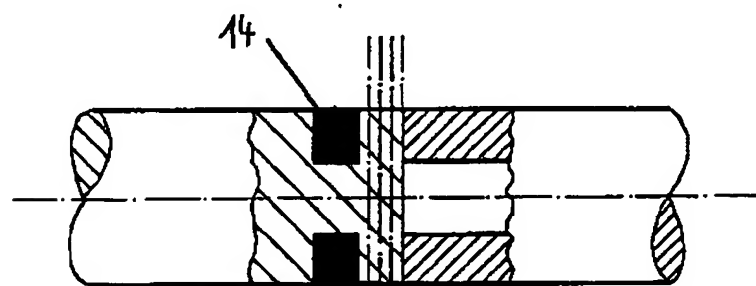


FIG. 3

$$\begin{array}{cccc} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 \end{array}$$

Below the diagram, there are two rows of symbols: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4$ and $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3 < \beta_4$. Above the first row are four dots, above the second row are four 'x' marks.

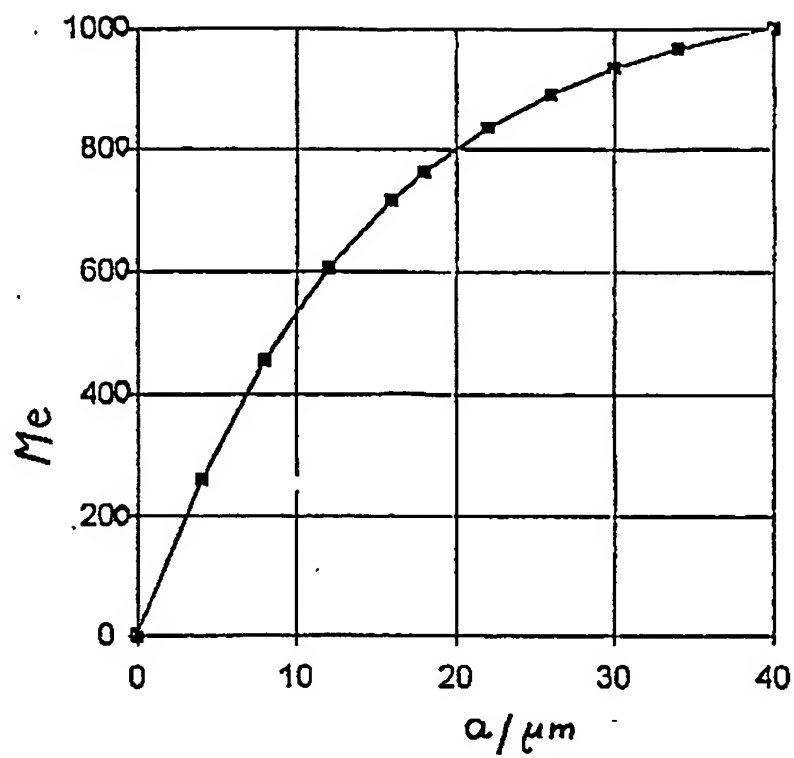
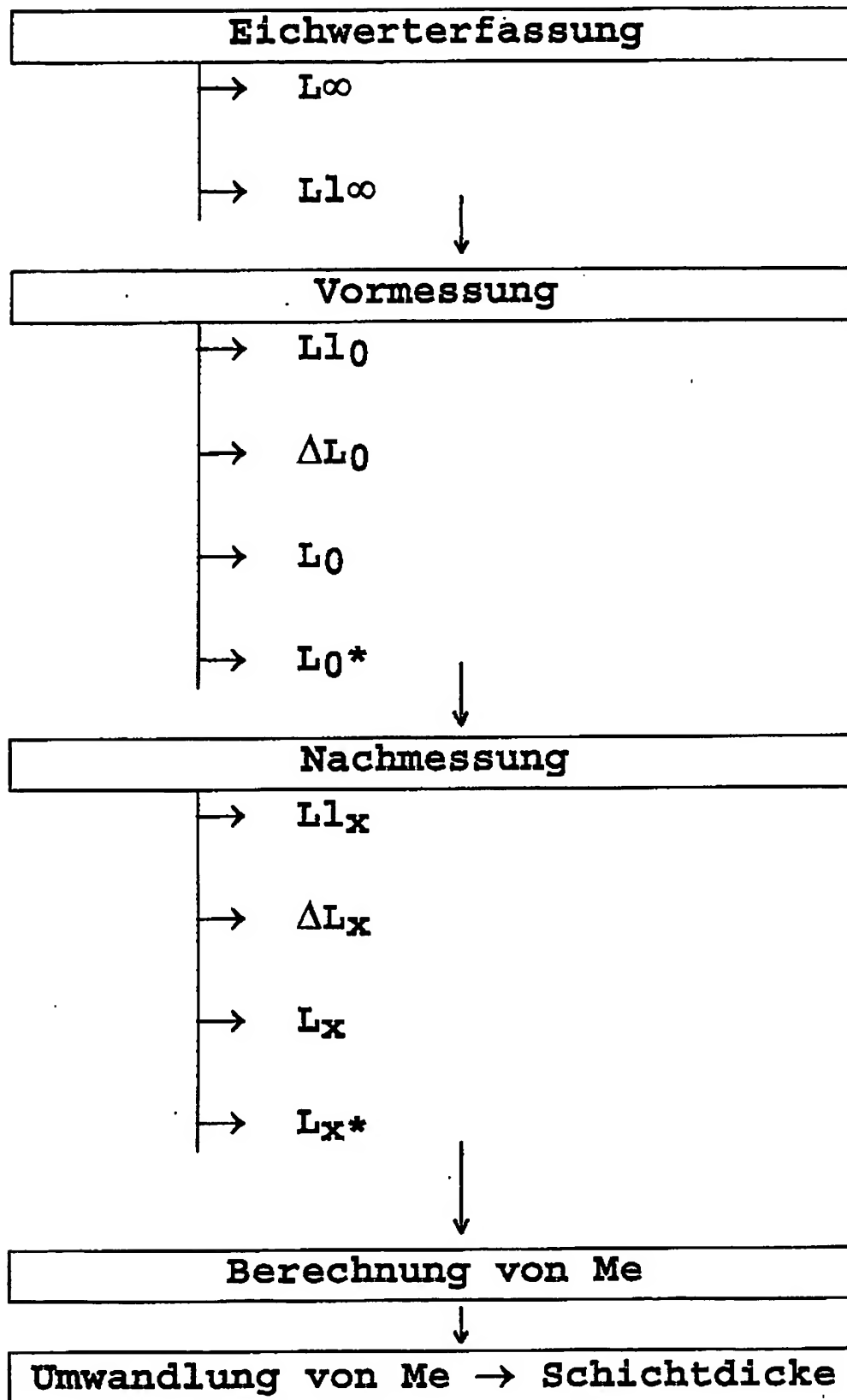


FIG. 4

FIG. 5



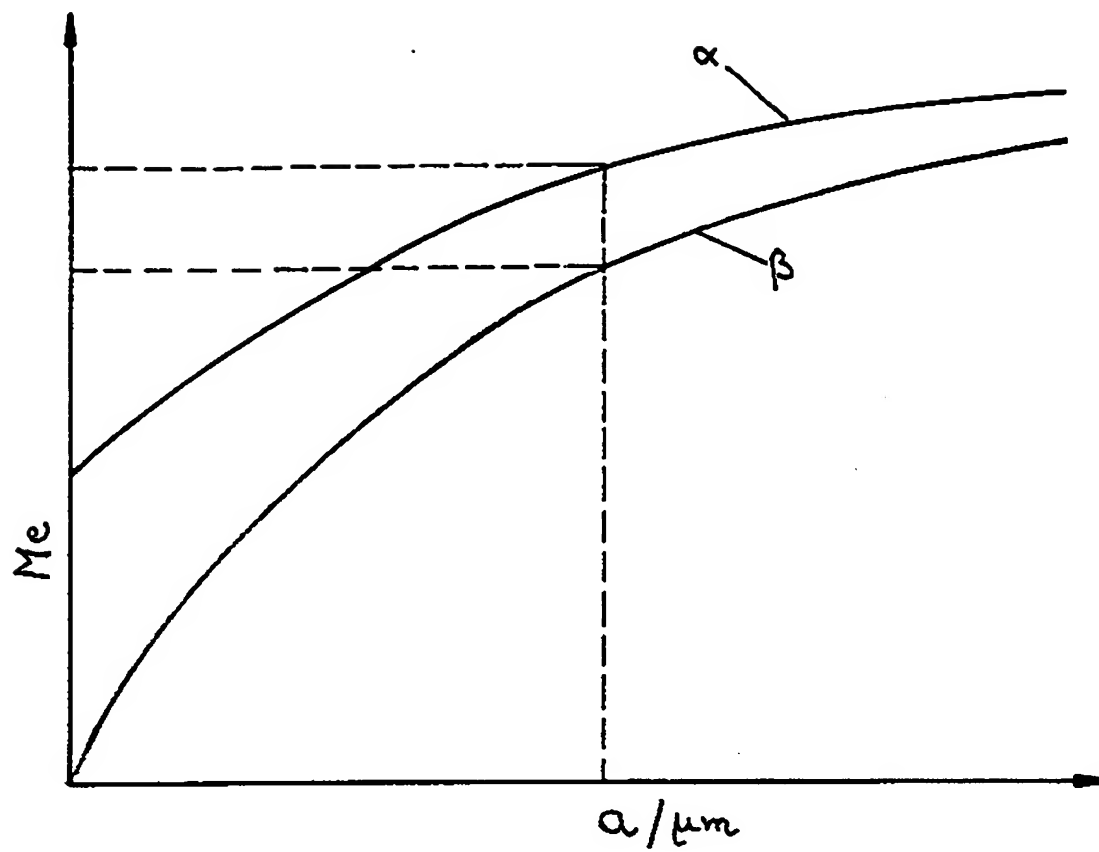
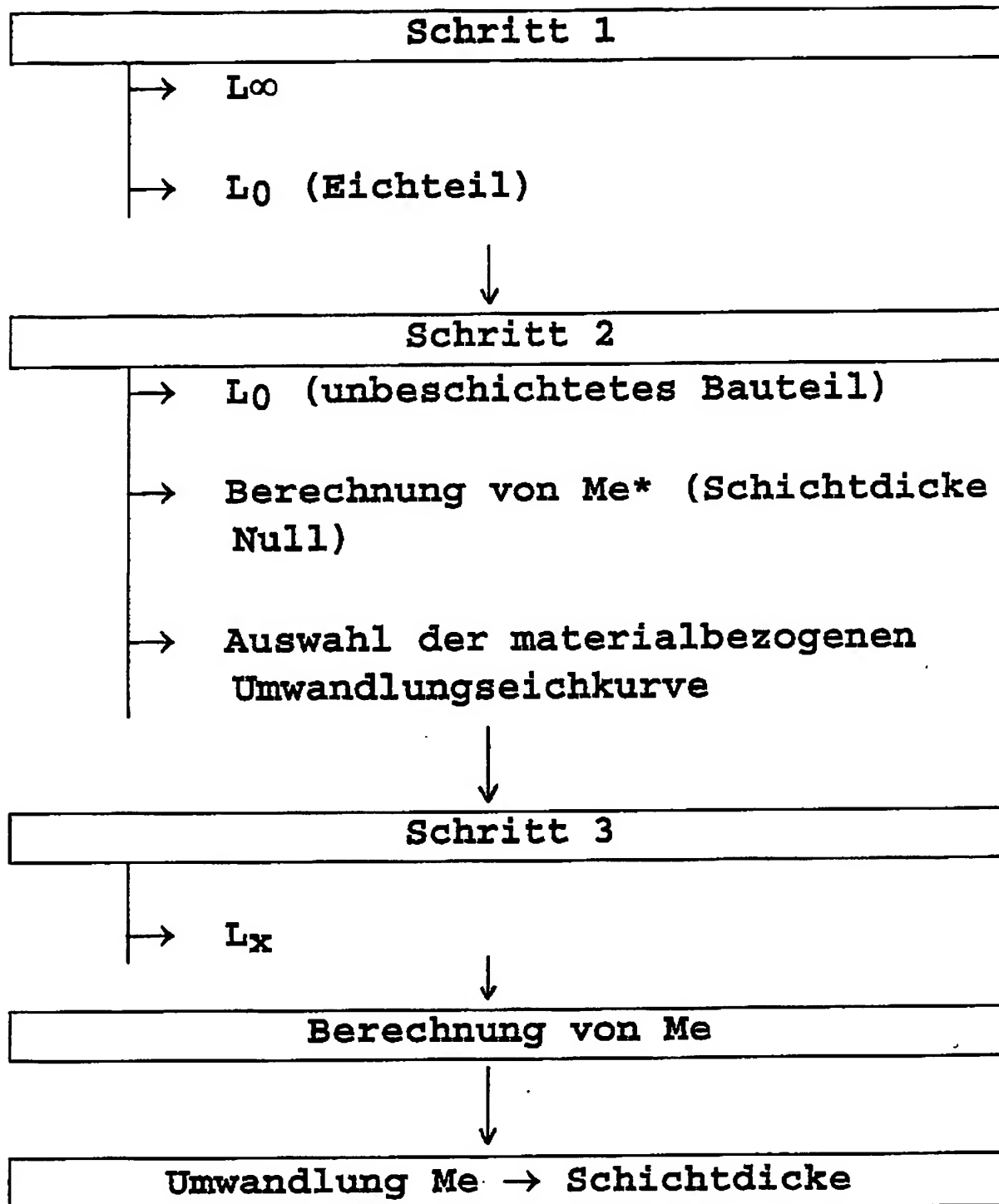


FIG. 6

FIG. 7



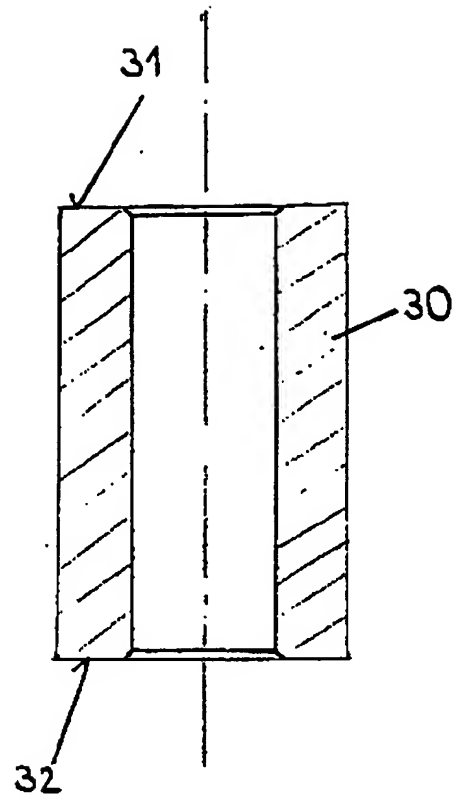


FIG. 8

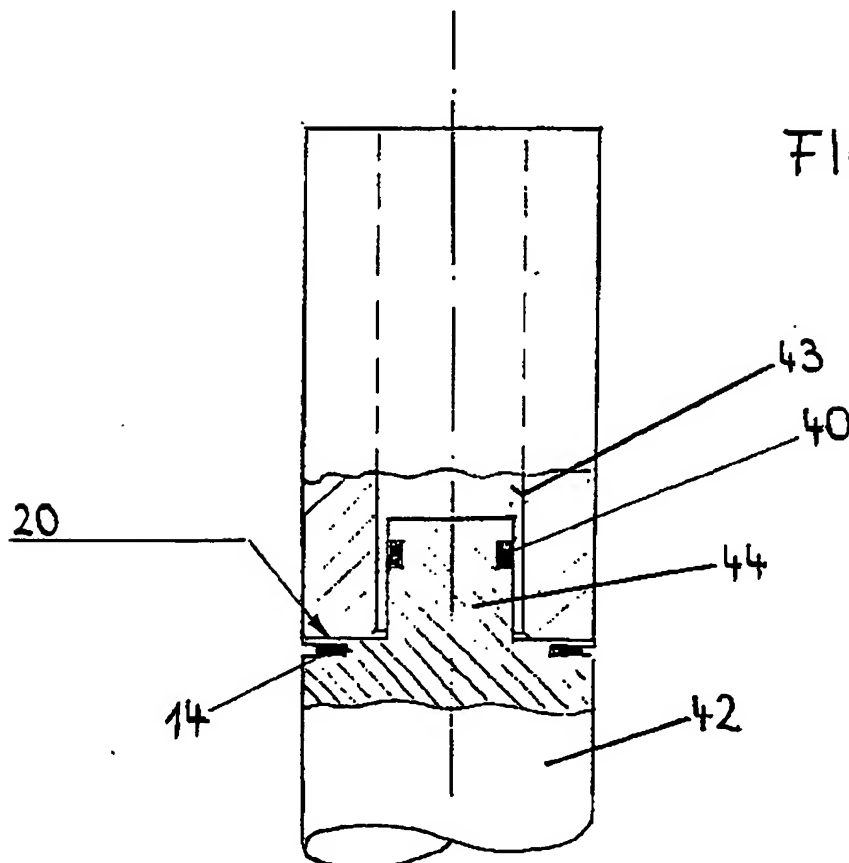


FIG. 9



21 Aktenzeichen: 196 52 750.3-52
22 Anmeldetag: 18. 12. 96
43 Offenlegungstag: 2. 7. 98
48 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 2. 12. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

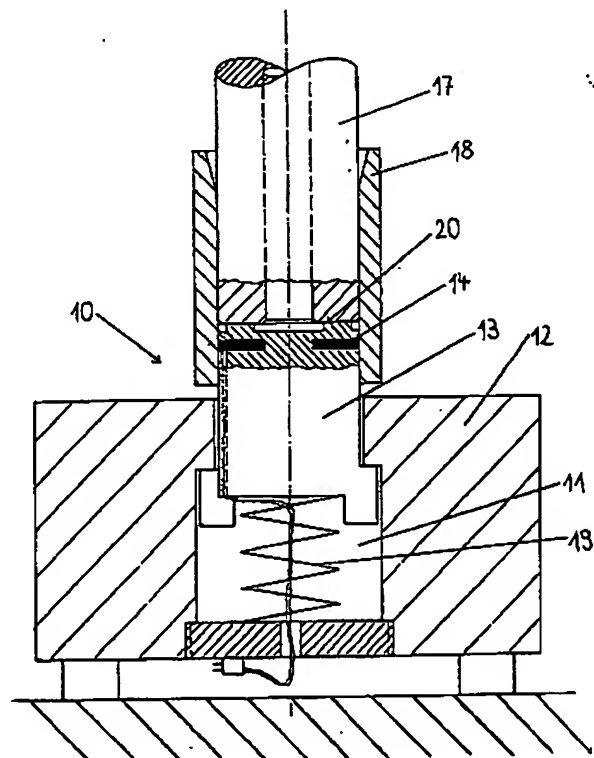
73 Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Dobler, Klaus, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Hachtel,
Hansjoerg, 71287 Weissach, DE; Dimke, Reinhard,
70195 Stuttgart, DE; Heide, Franz auf der, 96123
Litzendorf, DE; Blattert, Richard, 71711 Murr, DE;
Weber, Josef, Dr., 71739 Oberriexingen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 43 27 712 A1
DE 41 19 903 A1

54 Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material

57 Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht
(20) aus elektrisch leitendem Material, die auf einem Kör-
per (17) aus ferromagnetischem Material aufgebracht ist,
mit Hilfe einer von einem Wechselstrom durchflossenen
Meßspule (14), deren Induktivitätsänderung ausgewertet
wird, wobei folgende Meßschritte ablaufen:
- Ermittlung des Induktivitätswertes L_{∞} der Spule (14) bei
einer Messung ausschließlich gegenüber einer Schicht
aus dem elektrisch leitenden Material
- Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 der Spule (14) bei
einer Messung ausschließlich gegenüber einem Körper
aus dem ferromagnetischen Material
- Ermittlung des Induktivitätswertes L_x der Spule (14) bei
einer Messung gegenüber der zu bestimmenden Schicht
(20)
- Umwandlung in einen dimensionslosen Wert M_0
- Umwandlung des Werts M_0 mit Hilfe einer Eichkurve in
einen Schichtdickenwert.



Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material, insbesondere einer Chromschicht.

Bisher werden in der Praxis verchromte Teile zum Beispiel mit dem Röntgenfluoreszenz-Verfahren gemessen. Dieses Verfahren ist aber teuer und zeitaufwendig. Auch wird die sogenannte Induktiv-Meßmethode angewandt. Hierbei sind aber auf der Oberfläche nur punktähnliche Messungen möglich, die für einen Einsatz in der Praxis eine sehr hohe Positioniergenauigkeit erfordern. Bei beiden Verfahren ist es aber relativ schwierig, auftretende Meßfehler zu eliminieren.

In der DE 43 27 712 A1 wird zwar ein Wirbelstromsensor verwendet, dieser ist aber nur Teil eines Kombinationssensors. Die hier verwendete Sensoranordnung muß mindestens einen Wirbelstromsensor und einen Wegmeßsensor aufweisen. Das damit verbundene Verfahren ist somit vollständig auf die Verwendung zweier unterschiedlicher Sensoren aufgebaut, wobei der Wegmeßsensor zur Bestimmung des Abstandes der gesamten Sensoranordnung dienen soll. Anregungen, nur mit einem Sensor zu arbeiten, und hier insbesondere auf den Wegmeßsensor zu verzichten, sind nicht zu entnehmen.

Auch in der Schrift DE 41 19 903 A1 wird auf die Bedeutung von mindestens zwei Sensoren für das dort beschriebene Meßverfahren hingewiesen. Es müssen zwei unterschiedliche Spulenvorrichtungen vorhanden sein, die jeweils unterschiedliche Ausgabewerte für das gleiche Meßproblem abgeben. Die Spulen sind hierbei an unterschiedlichen Orten zur Messung angeordnet. Das Meßverfahren nur mit einer einzigen Spule durchzuführen wird dort nicht angeregt, vielmehr wird auf die Bedeutung der Messung mit zwei unterschiedlichen Spulenvorrichtungen hingewiesen.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß auftretende Meßfehler weitgehend eliminiert werden können.

Insbesondere in einer Massenproduktion hergestellte beschichtete Teile können in einem kontinuierlich durchlaufenden Meßverfahren überprüft werden. Eventuelle Schwankungen der stofflichen Beschaffenheit des Grundstoffes und zum Beispiel durch Verschmutzung bzw. Abrieb bewirkte Unterschiede des Abstandes zwischen der Meßspule und dem zu bestimmenden Meßobjekt können eliminiert werden. Dadurch ist eine sehr zuverlässige und eindeutige Aussage über die Dicke der zu bestimmenden Schicht möglich.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im unabhängigen Anspruch angegebenen Verfahrens möglich.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die

Fig. 1 zeigt einen schematischen Aufbau der Meßvorrichtung, in der

Fig. 2 ist der Verlauf der Induktivität L der Meßspule über die Dicke a der zu bestimmenden Schicht bei unterschiedlichen Abständen und bei unterschiedlicher stofflicher Beschaffenheit α bzw. β des sich unter der zu bestimmenden Schicht befindlichen Materials dargestellt. In der

Fig. 3 ist das Verhältnis der in Fig. 2 verwendeten unterschiedlichen Abstände zwischen der Meßspule und dem Meßobjekt dargestellt.

Fig. 4 zeigt den Verlauf der Normwerte M_e über der Schichtdicke a .

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild des Verfahrens und

Fig. 6 den Verlauf der Normwerte M_e über der Schichtdicke a .

Fig. 7 zeigt ein weiteres Blockschaltbild einer Abwandlung des Verfahrens und

Fig. 8 eine Abwandlung des beim Meßverfahren verwendeten Eichkörpers und

Fig. 9 eine Abwandlung des beim Meßverfahren verwendeten Meßkörpers.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Das erfindungsgemäße Meßverfahren beruht auf dem sogenannten Induktiv-Wirbelstrommeßprinzip. In der Fig. 1 ist ein dafür verwendeter Sensor 10 konstruktiv dargestellt. Der Sensor 10 ist in der Ausnehmung 11 eines Grundkörpers 12 angeordnet und besteht aus einem Spulenkörper 13 auf dem eine von einem hochfrequenten Wechselstrom, zum Beispiel 4 MHz, durchflossene Spule 14 angebracht ist. Die Spule 14 kann zum Beispiel als Flachspule oder Ringspule ausgebildet sein. Der Spulenkörper 13 besteht vorzugsweise aus elektrisch nicht leitendem und nicht ferromagnetischem Material, zum Beispiel Kunststoff, und wird nahezu reibungsfrei in der Ausnehmung 11 geführt. Das zu überwachende Bauteil 17 ist in einen Führungskörper 18 eingebracht, der das Bauteil 17 und die Spule 14 zueinander positioniert. Mit Hilfe einer Feder 19 wird der Spulenkörper 13 und somit die Spule 14 gegen die Oberfläche 20 des Bauteils 17 gedrückt. Die Oberfläche 20 weist die zu bestimmende Schicht auf. Beim Bauteil 17 kann es sich zum Beispiel um den Stutzen eines Einspritzventils handeln, wobei die Schicht 20 dann eine Chromschicht darstellt. Fließt durch die Spule 14 ein Wechselstrom, so wird ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, das sowohl die Chromschicht 20 als auch die darunterliegende Materialschicht aus ferromagnetischem Material des Bauteils 17 durchdringt. In der Chromschicht 20 wirkt dann nur der Wirbelstromeffekt, während im ferromagnetischen Material des Grundkörpers 17 der Induktiv- und Wirbelstromeffekt wirksam sind. Im folgenden werden nun die jeweiligen Meßeffekte einzeln erläutert, die auftreten würden, wenn das je-

weilige andere Teil nicht vorhanden wäre. Wird die Spule 14 von einem Wechselstrom durchflossen und erfaßt das magnetische Wechselfeld der Spule nur ein elektrisch gut leitendes aber nicht ferromagnetisches Material, d. h. nur die Chromschicht 20 würde vom magnetischen Wechselfeld der Spule erfaßt, so wirkt nur der sog. Wirbelstromeffekt. Aufgrund der sich in dem elektrisch gut leitenden, aber nicht ferromagnetischen Material ausbildenden Wirbelströme ergibt sich eine Verminderung der Induktivität der Spule 14.

Im folgenden wird nun die Wirkung des magnetischen Feldes der von einem Wechselstrom durchflossenen Spule 14 auf das ihr gegenüberliegende ferromagnetische Material, d. h. auf das Material des Grundkörpers 17 beschrieben. Das magnetische Wechselfeld der von dem Wechselstrom durchflossenen Spule erfaßt das Material des Grundkörpers 17. Es sei darauf hingewiesen, daß bei elektrisch leitendem und ferromagnetischem Material sowohl der ferromagnetische Effekt als auch der Wirbelstromeffekt wirkt. Während der Wirbelstromeffekt eine Verminderung der Induktivität der Meßspule hervorruft, bewirkt der ferromagnetische Effekt eine Erhöhung der Induktivität der Meßspule. Welcher von beiden Effekten überwiegt, ist primär von der Frequenz des Wechselstroms, der die Spule 14 durchfließt, und von der Stoffbeschaffenheit des Grundkörpers 17 abhängig. Überträgt man diese beiden Meßeffekte auf den Grundkörper 17 mit der Chromschicht 20, so läßt sich feststellen, daß je dicker die Chromschicht 20 ist, desto schwächer bildet sich das Magnetfeld aus und damit ist die Induktivität der Spule 14 schwächer. In der Fig. 2 ist mit $\alpha 1$ eine entsprechende Meßkurve dargestellt, die den abnehmenden Verlauf der Induktivität der Meßspule 14 über die zunehmende Dicke der Chromschicht 20 darstellt.

Der Verlauf der Meßkurve der Induktivität L über der Schichtdicke a hängt aber von der stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers 17, d. h. zum Beispiel von dem elektrischen Widerstand, der Permeabilität des Materials und vom Abstand zwischen der Spule 14 und der Oberfläche 20, die gemessen werden soll, ab. Verändert sich zum Beispiel bedingt durch Verschmutzungen oder durch Abnutzung des Spulenkörpers der Abstand zwischen der Meßspule 14 und der Chromschicht 20, so ergeben sich unterschiedliche Kennlinien des Verlaufs der Induktivität L über der Schichtdicke a. In der Fig. 2 sind hier verschiedene Beispiele dargestellt. Die Kennlinien $\alpha 2$, $\alpha 3$ und $\alpha 4$ stellen hierbei den Verlauf der Induktivität L über der Schichtdicke a bei unterschiedlichem Abstand zwischen der Meßspule und der zu überwachenden Chromschicht aber bei gleicher stofflicher Beschaffenheit des Grundkörpers 17 dar. In der Fig. 3 ist hierbei die Größe des Abstandes α zwischen der Spule 14 und der zu überwachenden Chromschicht 20 dargestellt. Es ist ersichtlich, daß der Abstand von $\alpha 1$ zu $\alpha 4$ immer größer wird. Würde man hingegen die stoffliche Beschaffenheit des Materials des Grundkörpers 17 verändern, so würden sich die Kennlinien $\beta 1$ bis $\beta 4$ ergeben. Die Kennlinien $\beta 1$ bis $\beta 4$ bedeuten wiederum eine Variation des Abstands zwischen der Meßspule und der zu überwachenden Chromschicht bei einer zweiten stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers. Aus dem Diagramm nach der Fig. 2 ist erkenntlich, daß einem gemessenen Induktivitätswert L eine Vielzahl möglicher Schichtdicken zugeordnet werden kann. Statt der Induktivität kann auch der Wechselstromwiderstandswert der Spule ausgewertet werden.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren ermöglicht nun auch eine eindeutige Zuordnung zwischen den gemessenen Induktivitätswerten L der Meßspule 14 und der Dicke a der Chromschicht 20, wenn sich die stoffliche Beschaffenheit des Grundkörpers 17 und/oder der Abstand zwischen der Meßspule 14 und der Oberfläche der zu bestimmenden Chromschicht ändert. Kern des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, eine Normung durchzuführen, die auftretende Meßfehler eliminiert und einen eindeutigen zuordbaren Meßwert ermittelt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Dicke einer Schicht wird in mehreren Meß- und Auswertungsschritten durchgeführt. Vor der Beschichtung des Grundkörpers 17 wird in einer sog. Vormessung ein Induktivitätswert L_0 der Spule 14 ermittelt. Hierbei sitzt die Spule 14 möglichst direkt auf der noch unbeschichteten der Spule zugewandten Oberfläche (Meßfläche) des Grundkörpers 17 auf. Es erfolgt somit nur eine Messung gegenüber dem Material des Grundkörpers 17. Die Größe des Induktivitätswerts L_0 hängt von der Beschaffenheit des Grundkörpers ab, insbesondere von dessen magnetischen und elektrischen Eigenschaften. Diese Beschaffenheit des Grundkörpers 17 kann in einer Serienfertigung schwanken. Deshalb ist der Induktivitätswert L_0 zu Beginn der Messung für jeden einzelnen Grundkörper 17 zu ermitteln und auch zuordbar in einem Datenspeicher abzuspeichern.

Anschließend wird nun der Grundkörper 17 in einer entsprechenden Beschichtungsanlage mit einer Chromschicht 20 versehen. Danach erfolgt eine zweite Messung, d. h. eine sog. Nachmessung, die an derselben Stelle des Grundkörpers 17 wie die oben erwähnte Vormessung durchgeführt wird. Dabei ergibt sich ein Induktivitätswert L_x der Meßspule 14. Die Größe des Induktivitätswerts L_x wird u. a. von der Dicke der Chromschicht 20 und von der stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers 17 bestimmt. Es ist sicherzustellen, daß beide ermittelten Induktivitätswerte L_0 bzw. L_x jeweils eindeutig demselben Grundkörper 17 zuzuordnen sind. Diese beiden Induktivitätswerte L_0 bzw. L_x werden nun mit Hilfe eines Algorithmuses in Normwerte umgeformt, d. h. in dimensionslose Kennzahlen, die einer entsprechenden Schichtdicke zuordbar sind. Um diese Normwertbildung durchführen zu können, muß der Induktivitätswert L_∞ ermittelt werden. Diesen Induktivitätswert L_∞ erhält man, wenn an einem Eichkörper eine Messung ausschließlich gegenüber einer Chromschicht durchgeführt wird. Die Oberfläche des Eichkörpers muß dabei eine so dicke Chromschicht aufweisen, daß sie das gesamte Magnetfeld der Spule abschirmt, so daß im ferromagnetischen Grundstoff des Eichkörpers weder der induktive noch der Wirbelstromeffekt sich auswirken kann. Gegebenenfalls könnte beim Eichkörper an Stelle von Chrom auch ein anderer elektrisch leitender, jedoch nicht ferromagnetischer Stoff als Ersatz verwendet werden. Entsprechend der Gleichung 1 wird nun der Normwert M_e ermittelt. Der Faktor 1000 kann beliebig zwischen Null und Unendlich variiert werden.

$$M_e = 1000 \cdot \frac{L_x - L_0}{L_\infty - L_0} \quad (1)$$

M_e = Meßwert/Normwert

L_0 = Induktivitätswert (unbesch. Grundkörper)

L_x = Induktivitätswert (beschichtetes Teil)

L_{∞} = Induktivitätswert (Eichkörper aus Chrom)

In der Fig. 4 ist nun der Verlauf γ der entsprechend der Gleichung (1) normierten Meßwert M_e über der Schichtdicke a dargestellt. Die verschiedenen in der Fig. 2 dargestellten Kurven ergeben einen nahezu zusammenfallenden Verlauf γ der jeweils ermittelten Normwerte M_e . Es ist ersichtlich, daß in der Fig. 4 gegenüber der Fig. 2 eine eindeutige Zuordnung eines Normwert M_e zu einer Dicke der Schicht 20 möglich ist.

Mit Hilfe der Gleichung 1 wurden bisher die Fehler nahezu eliminiert, die durch unterschiedlich große Abstände zwischen der Meßspule und der zu bestimmenden Schicht und durch unterschiedliche magnetische bzw. elektrische Eigenschaften des Materials des Grundkörpers 17 entstehen. Es ist aber auch noch möglich, den Einfluß der unter anderem durch Temperaturschwankungen entstehenden sog. Offsetdrift auf das Meßergebnis zu unterdrücken. Hierzu ist auch der Induktivitätswert der Meßspule zu erfassen, der sich ergibt, wenn die Meßspule ausschließlich gegen Luft mißt, d. h. wenn ihr weder eine Chromschicht noch irgendein Bauteil gegenüberliegt. Dieser Meßwert wird im folgenden als Urluftwert $L_{l\infty}$ bezeichnet. Er wird ermittelt kurz vor oder nachdem (möglichst zeitgleich) der Induktivitätswert L_{∞} mit Hilfe eines Eichkörpers ermittelt wird. Dieser Wert $L_{l\infty}$ stellt einen Basiswert dar, der für die nachfolgenden Messungen jeweils verwendet wird. Während der individuellen Messung des einzelnen Grundkörpers 17 wird kurz vor oder nach der oben erwähnten sog. Vormessung, d. h. möglichst zeitgleich zur Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 der Spule ein Induktivitätswert L_l ermittelt, der entsteht, wenn die Meßspule wiederum gegen Luft mißt. Anschließend erfolgt zum Beispiel in einem Mikrocomputer eine Differenzbildung $\Delta L_0 = L_l - L_{l\infty}$. Mit Hilfe dieses Wertes ΔL_0 werden nun korrigierte Induktivitätswerte $L_0^* = L_0 - \Delta L_0$ errechnet. Sinngemäß ist auch bei der Messung des Induktivitätswertes L_x der korrigierte Meßwert L_x^* zu ermitteln. Hierbei wird zeitlich kurz vor oder nach der oben erwähnten sog. Nachmessung, d. h. kurz vor oder nach der Ermittlung des Wertes L_x der Induktivitätswert der Spule gegenüber Luft erfaßt, der mit L_{lx} bezeichnet wird. Der Wert der Spule gegenüber Luft ist hier nochmals zu ermitteln, da ein zeitlicher Unterschied und somit eine Temperaturschwankung zwischen der Erfassung des Induktivitätswertes der Spule gegenüber Luft bei der sog. Vormessung und bei der sog. Nachmessung vorhanden sein kann. Der einmal ermittelte sog. Urluftwert $L_{l\infty}$ kann sowohl bei der Korrektur des Induktivitätswertes L_0 bzw. des Induktivitätswertes L_x über einen längeren Zeitraum verwendet werden. Auch ist es ausreichend, wenn der Induktivitätswert L_{∞} , der den Induktivitätswert einer Messung ausschließlich gegenüber einer Chromschicht darstellt, nur intervallartig aufgenommen wird und für längere Zeit in einer Datenbank gespeichert wird. Wird aber der Induktivitätswert L_{∞} neu aufgenommen, um z. B. eine langsame und kontinuierliche Veränderung des Abstands zwischen der Meßspule und dem Meßobjekt (z. B. Abrieb) zu berücksichtigen, so ist gleichzeitig auch der sog. Urluftwert $L_{l\infty}$ zu erneuern. Um nun bei der Normwertbildung auch die Offsetdrift des Meßergebnisses, die durch Temperaturschwankungen hervorgerufen wird, zu berücksichtigen, ist die Gleichung 2 zu verwenden.

$$M_e = 1000 \cdot \frac{(L_x - (L_{lx} - L_{l\infty})) - (L_0 - (L_l - L_{l\infty}))}{L_{\infty} - (L_0 - (L_l - L_{l\infty}))} \quad (2)$$

Bei Austausch eines Sensors müssen der Induktivitätswert L_{∞} und $L_{l\infty}$ neu aufgenommen werden. Erfolgt der Austausch zwischen Vor- und Nachmessung muß auch bei der Nachmessung der alte Bezugswert $L_{l\infty}$ verwendet werden.

Bei manchen Materialien für den Grundkörper 17 ändern sich über längere Zeitabläufe betrachtet die elektrischen und magnetischen Werte des Materials des Grundkörpers. Diese Veränderung, d. h. Drift, kann bei jedem zu bestimmenden Meßkörper unterschiedlich groß sein, da diese Drift neben der Stoffbeschaffenheit auch von der individuellen Wärmebehandlung, die vor dem Verchromen erfolgt, abhängt. Für die Aufnahme von Justierkennlinien, siehe Fig. 4, werden deshalb Eichkörper, wie sie in der Fig. 8 dargestellt sind, hergestellt. Der Eichkörper 30 weist zwei Stirnflächen 31 und 32 auf. Die Meßfläche 31 besteht hier aus dem unbeschichteten Grundstoff und die Meßfläche 32 ist mit der Chromschicht versehen. Beide Meßflächen 31 und 32 sind aber formgleich. Die Dicke der Chromschicht, die auf die Meßfläche 32 aufgebracht ist, ist bekannt. Der bei der Eichung mit diesem Eichkörper 30 ermittelte Normwert ändert sich nicht oder nur unwesentlich, auch wenn sich die elektrischen und magnetischen Eigenschaften des Grundstoffes, bedingt durch Alterungsprozesse verändern. Vorausgesetzt ist hierbei eine homogene Änderung der magnetischen und elektrischen Eigenschaften des Grundstoffs über den gesamten Eichkörper.

Im folgenden werden die einzelnen Meß- und Berechnungsschritte nochmals anhand des Diagramms nach Fig. 5 aufgelistet. Das Meßverfahren läuft, wie erläutert grob, in drei Schritten ab, einer sog. Eichwerterfassung, einer sog. Vormessung und einer sog. Nachmessung. In der Eichwerterfassung wird der Induktivitätswert L_{∞} erfaßt, der ausschließlich gegenüber dem Material (bzw. dessen Ersatzstoff) bestimmt wird, dessen Dicke ermittelt wird, wobei die Stärke des Eichkörpers vorzugsweise größer als die Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes der Meßspule ist. Anschließend wird der Induktivitätswert $L_{l\infty}$ ermittelt, der den Induktivitätswert der Meßspule gegenüber Luft möglichst im Zeitpunkt der Erfassung des Werts L_{∞} darstellt.

Nun beginnt der sog. Vormessungsabschnitt.

3. Erfassung des aktuellen Induktivitätswertes der Spule gegenüber Luft L_l
4. Differenzbildung $\Delta L_0 = L_l - L_{l\infty}$.
5. Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 , d. h. des Induktivitätswertes gegenüber dem unbeschichteten Grundkörper.
6. Ermittlung des korrigierten Werts L_0^* entsprechend der Differenzbildung $L_0^* = L_0 - \Delta L_0$

Nun folgen die Berechnungsschritte der sog. Nachmessung:

7. Ermittlung des Induktivitätswertes der Spule gegenüber Luft L_{lx}
8. Bilde die Differenz $\Delta L_x = L_{lx} - L_{l\infty}$

9. Ermittlung des Induktivitätswerts L_X
10. Ermittlung des korrigierten Wertes L_X^* durch Differenzbildung: $L_X^* = L_X - \Delta L_X$
11. Durchführung der Normwertberechnung entsprechend der Gleichung mit den Werten L_∞ , und L_X^* bzw. L_0^*
12. Umwandlung des unter 11 ermittelten Normwertes in eine Schichtdicke mit Hilfe einer Eichkurve.

5

In einer Abwandlung des Verfahrens wird der Induktivitätswert L_0 nicht mehr bei jedem einzelnen Bauteil individuell gegenüber diesem ermittelt, sondern nun mit Hilfe eines Eichelements gemessen und abgespeichert. Dieses Justierteil darf aber seine elektrischen und magnetischen Eigenschaften während der Betriebsdauer der Anlage nicht verändern. Der Induktivitätswert L_∞ wird wie oben beschrieben ermittelt. Im folgenden werden nun die Meßschritte entsprechend Fig. 7 dargelegt, wobei zur Vereinfachung und aus Übersichtlichkeitsgründen die Korrektur der Drift der Temperatur nicht berücksichtigt ist. Für diese Abwandlung des Verfahrens ist es erforderlich, für jedes Material eine eigene Umwandlungseichkurve entsprechend Fig. 6 aufzunehmen, die mit den gleichen unter Schritt 1 verwendeten Eichelementen aufgenommen sind.

10

Schritt 1

15

1. Aufnahme des Induktivitätswerts L_∞ und Speicherung in Datenbank
2. Aufnahme des Induktivitätswertes L_0 gegenüber einem Eichelement und Speicherung in Datenbank.

Schritt 2

20

3. Ermittlung des Induktivitätswerts L_0 an einem unbeschichteten Bauteil
4. Errechnung des Normwertes M_e mit Hilfe der Gleichung 1 bei Schichtdicke Null.
5. Auswahl der materialbezogenen Umwandlungseichkurve gemäß Fig. 6.

25

Schritt 3

6. Ermittlung des Induktivitätswertes L_X an einem beschichteten Bauteil
7. Berechnung des Normwertes mit Hilfe der Gleichung 1
8. Umsetzung der Normwerte in Schichtdickenwerte mit Hilfe einer ausgewählten Eichkurve.

30

Anzumerken ist, daß bei dem Verfahren gegenüber dem beim Stand der Technik verwendeten Wirbelstromverfahren bzw. Induktivverfahren die Meßspule von einem hochfrequenten Wechselstrom, z. B. 4 MHz durchflossen wird. Dabei ergeben sich kleinere Spuleninduktivitäten. Es ist kein Spulenkern erforderlich, so daß eine variable und preiswerte Bauweise möglich ist.

35

Durch Einsatz eines sog. Multiplexers ist es möglich, viele Meßteile in kurzer Zeit vermessen zu können. Hierbei sind viele Meßspulen gleichzeitig den zu bestimmenden Meßflächen zugeordnet. Kurzzeitig nacheinander werden von einer Meßbrücke mittels des Multiplexers diese Meßflächen abgetastet. Dies ist möglich, auch wenn mit der oben erwähnten hohen Meßfrequenz von z. B. 4 MHz die Induktivitätswerte ermittelt werden.

In der Fig. 9 ist eine weitere Ausgestaltung der konstruktiven Anordnung nach Fig. 1 dargestellt. Die im Verfahren beschriebene Erfassung des Induktivitätswerts L_0 (Messung der Spule gegenüber unbeschichtetem Bauteil) kann auch mit einer separaten zweiten Meßspule 40 erfolgen. Hierzu muß nach der Verchromung, d. h. nach Aufbringen der Schicht, deren Dicke zu messen ist, auf der Oberfläche des zu überwachenden Bauteils noch eine nicht beschichtete Zone vorhanden sein. Bei dem in der Fig. 9 dargestellten Bauteil 41ragt ein Fortsatz 44 des Spulenkörpers 42 in eine Bohrung 43 des Bauteils 41. Die Wandung der Bohrung 43 ist hierbei nicht mit der zu bestimmenden Chromschicht bedeckt. Mit Hilfe der Spule 40 kann nun die elektrische und magnetische Eigenschaft des Grundkörpers ermittelt werden, während gleichzeitig mit Hilfe der Meßspule 14 eine Messung gegenüber der zu bestimmenden Chromschicht erfolgen kann. Mit Hilfe dieses Sensors ist es möglich, daß das Bauteil nur einmal auf dem Sensor positioniert werden muß, so daß eine noch kürzere Taktzeit entsteht.

50

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht (20) aus elektrisch leitendem Material, die auf einem Körper (17) aus ferromagnetischem Material aufgebracht ist, mit Hilfe einer von einem Wechselstrom durchflossenen Meßspule (14), deren Induktivitätsänderung ausgewertet wird, wobei folgende Meßschritte ablaufen:

55

- Ermittlung des Induktivitätswerts L_∞ der Spule (14) bei einer Messung ausschließlich gegenüber einer Schicht aus dem elektrisch leitenden Material
- Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 der Spule (14) bei einer Messung ausschließlich gegenüber einem Körper aus dem ferromagnetischen Material
- Ermittlung des Induktivitätswertes L_X der Spule (14) bei einer Messung gegenüber der zu bestimmenden Schicht (20)
- Umwandlung in einen dimensionslosen Wert M_e
- Umwandlung des Werts M_e mit Hilfe einer Eichkurve in einen Schichtdickenwert.

60

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der dimensionslose Wert M_e mit Hilfe der Gleichung ermittelt wird:

65

$$M_e = 1000 \cdot \frac{L_x - L_0}{L_\infty - L_0} \quad (1)$$

L_0 = Induktivitätswert unbesch. Grundkörper

L_x = Induktivitätswert beschichtetes Teil

L_∞ = Induktivitätswert ausschließlich gegenüber Schicht

A = Faktor

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Induktivitätswert L_0 gegenüber einem Eichteil ermittelt wird, daß ein Normwert M_e bei einer Schichtdicke Null gebildet wird, mit dem die zugehörige Umwandlungskurve ausgewählt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der dimensionslose Wert M_e mit Hilfe der Gleichung ermittelt wird:

$$M_e = 1000 \cdot \frac{(L_x - (L_{Lx} - L_{L\infty})) - (L_0 - (L_{L0} - L_{L\infty}))}{L_\infty - (L_0 - (L_{L0} - L_{L\infty}))} \quad (2)$$

L_{Lx} : Induktivitätswert gegenüber Luft vor oder nach der Erfassung von L_x

L_{L0} : Induktivitätswert gegenüber Luft vor oder nach der Erfassung von L_0

$L_{L\infty}$: Induktivitätswert gegenüber Luft vor oder nach der Erfassung von L_∞

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Spule (14) von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossen ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ermittlung des Induktivitätswerts L_0 und des Induktivitätswerts L_x an einem Eichkörper (30) mit homogener Materialzusammensetzung erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Induktivitätswert L_0 und der Induktivitätswert L_x mit Hilfe jeweils einer eigenen Meßspule (14, 40) nahezu gleichzeitig ermittelt wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

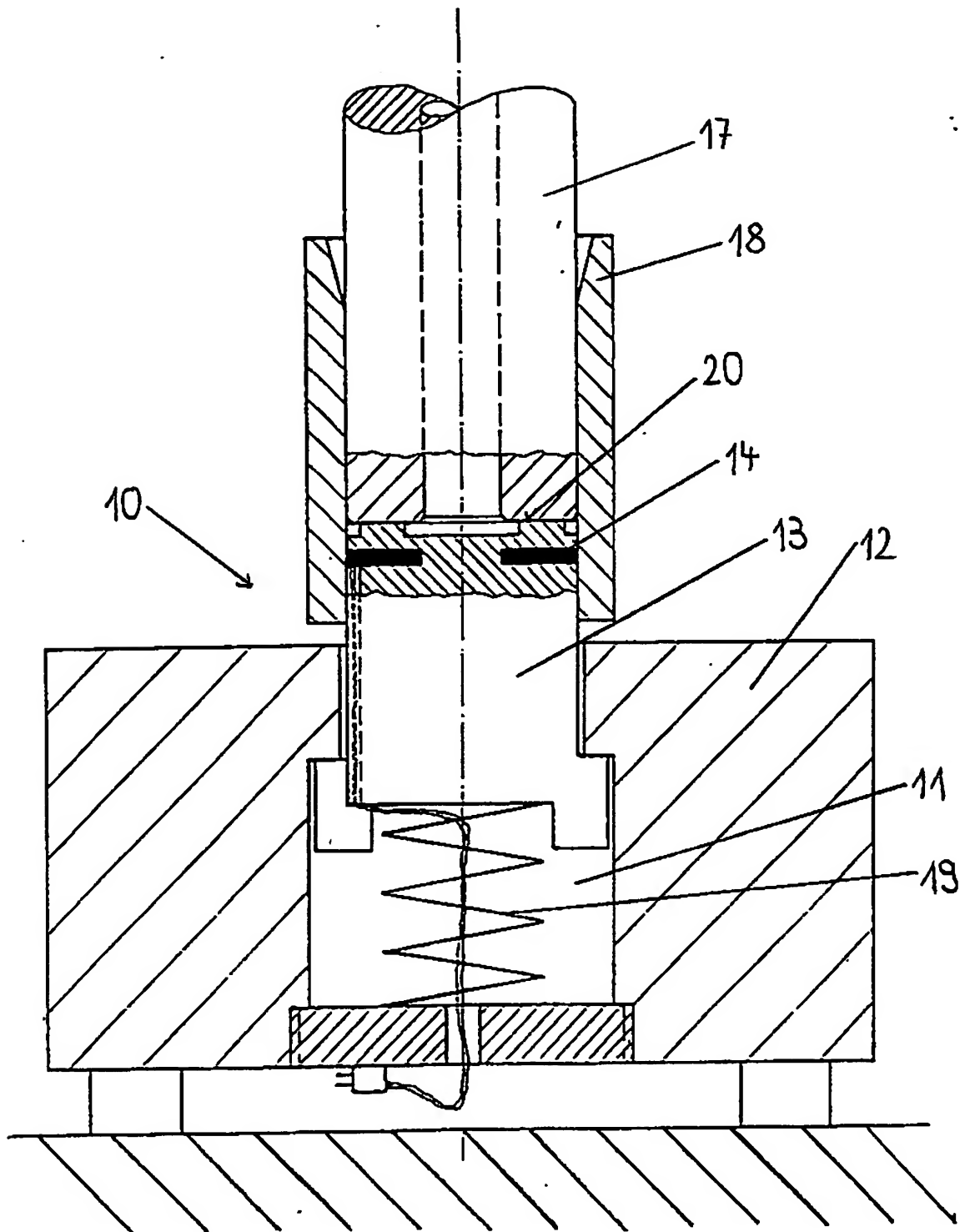


FIG. 1

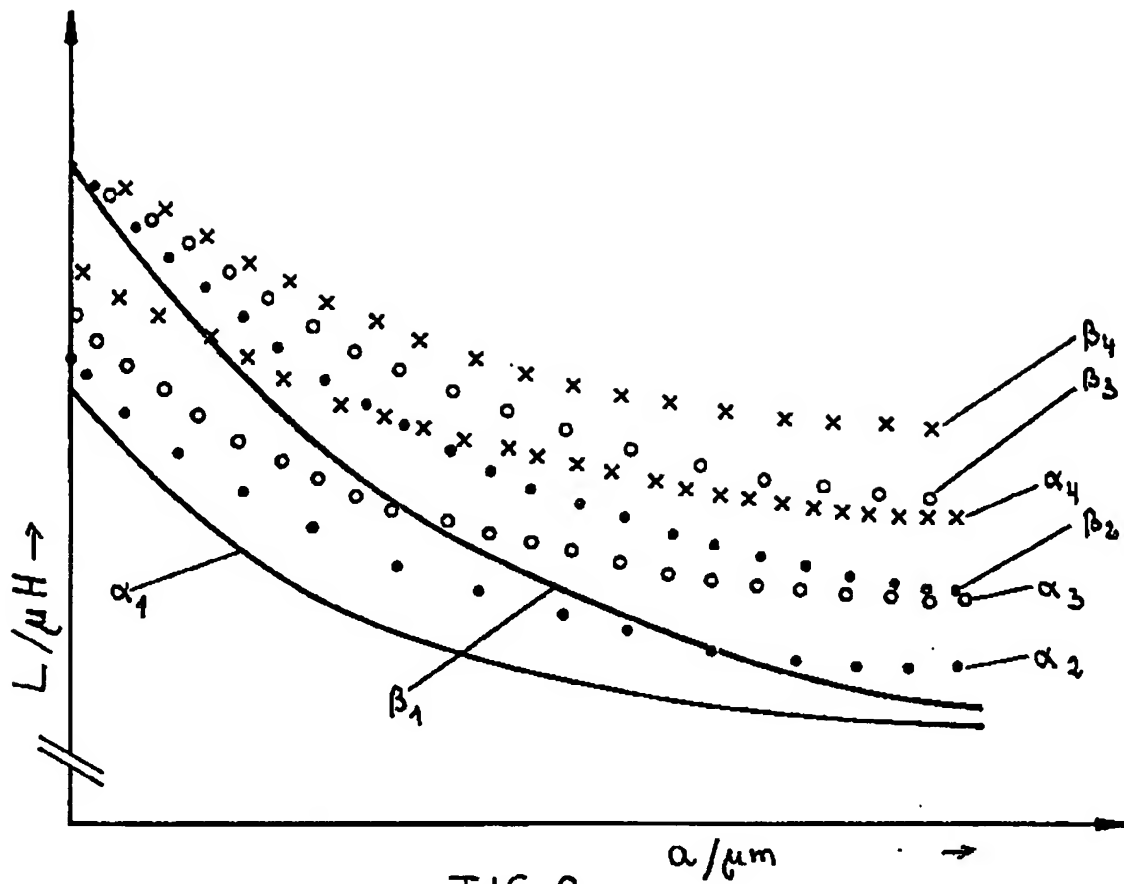


FIG. 2

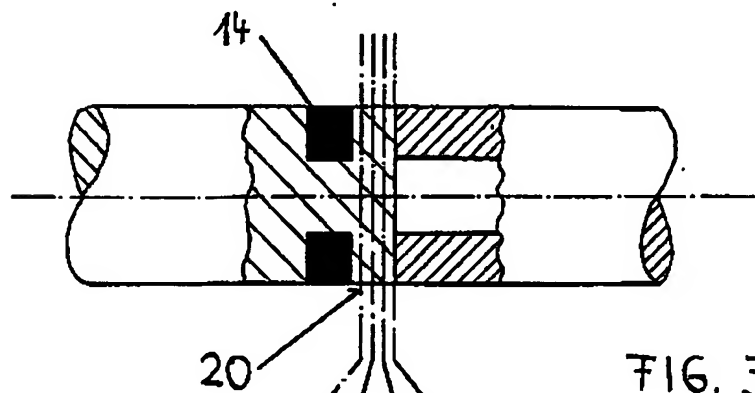


FIG. 3

$$\begin{array}{c} \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 \\ \beta_1 < \beta_2 < \beta_3 < \beta_4 \end{array}$$

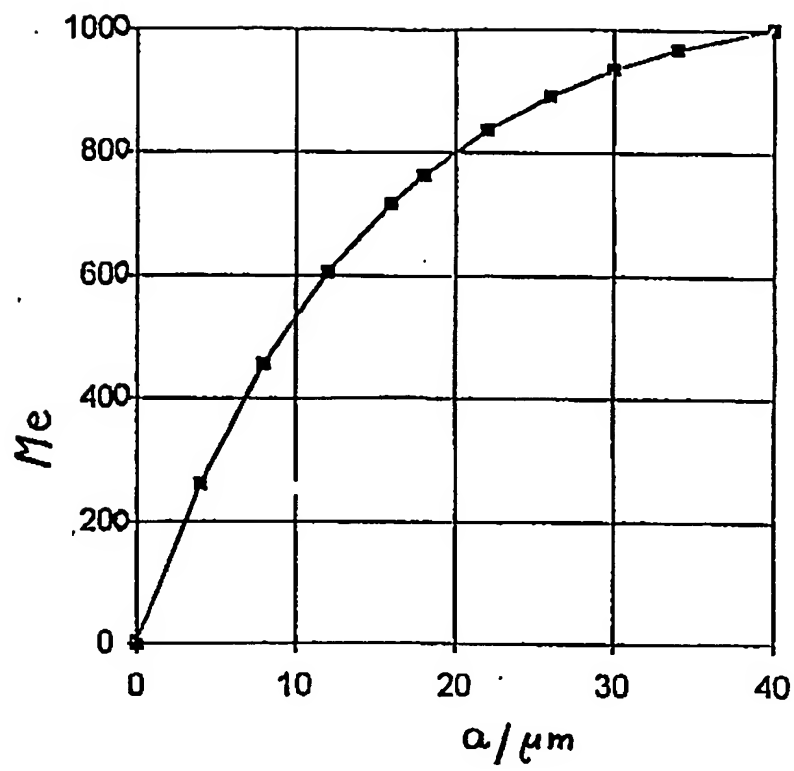
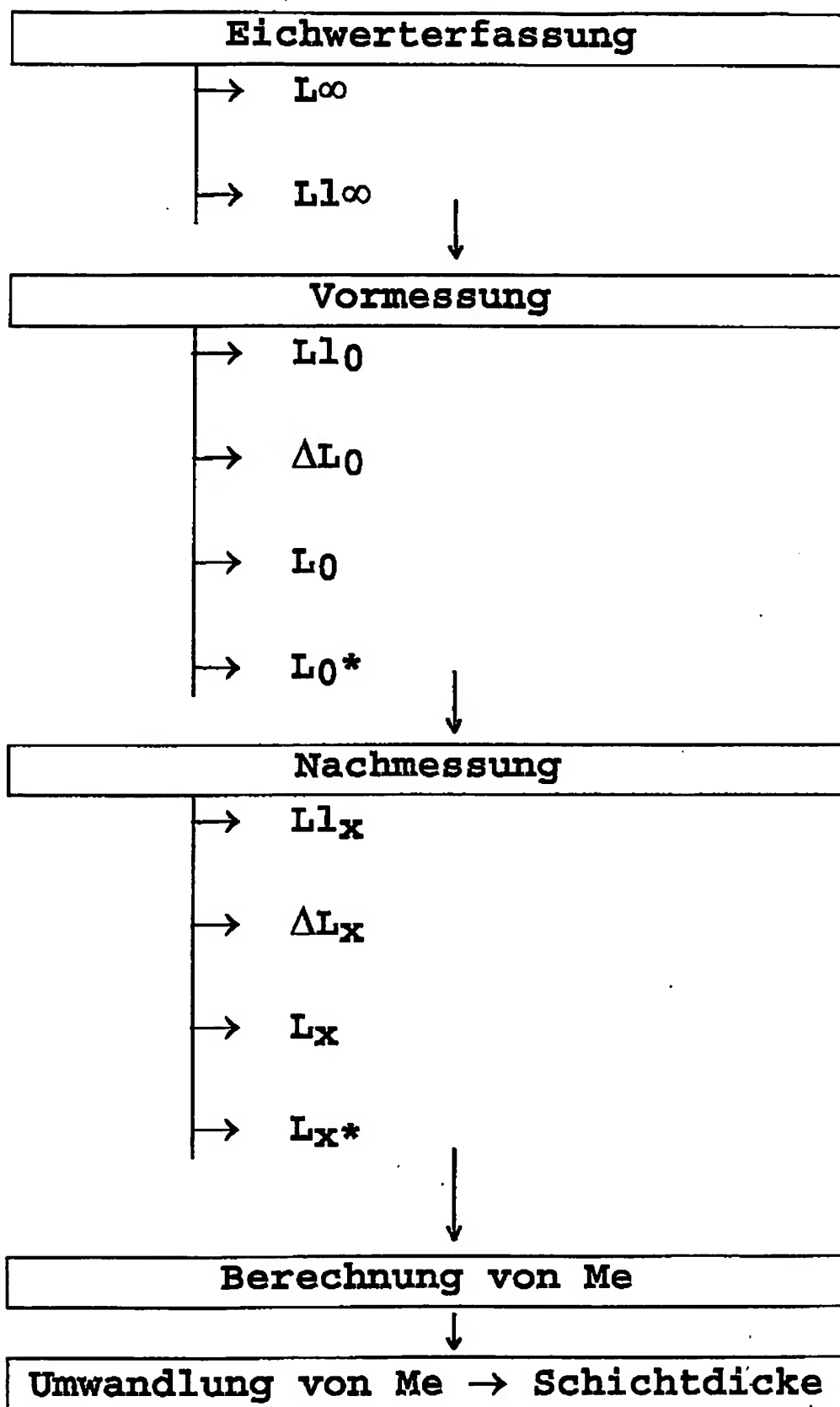


FIG. 4

FIG. 5



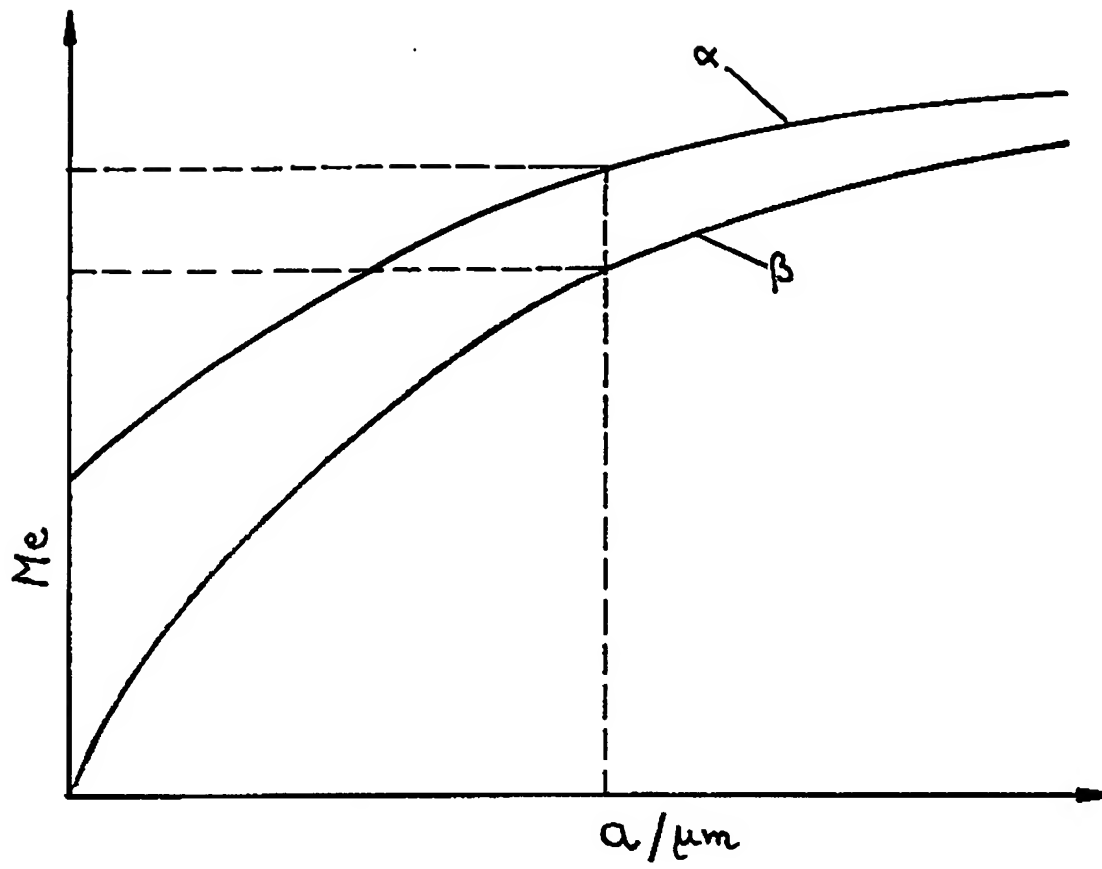
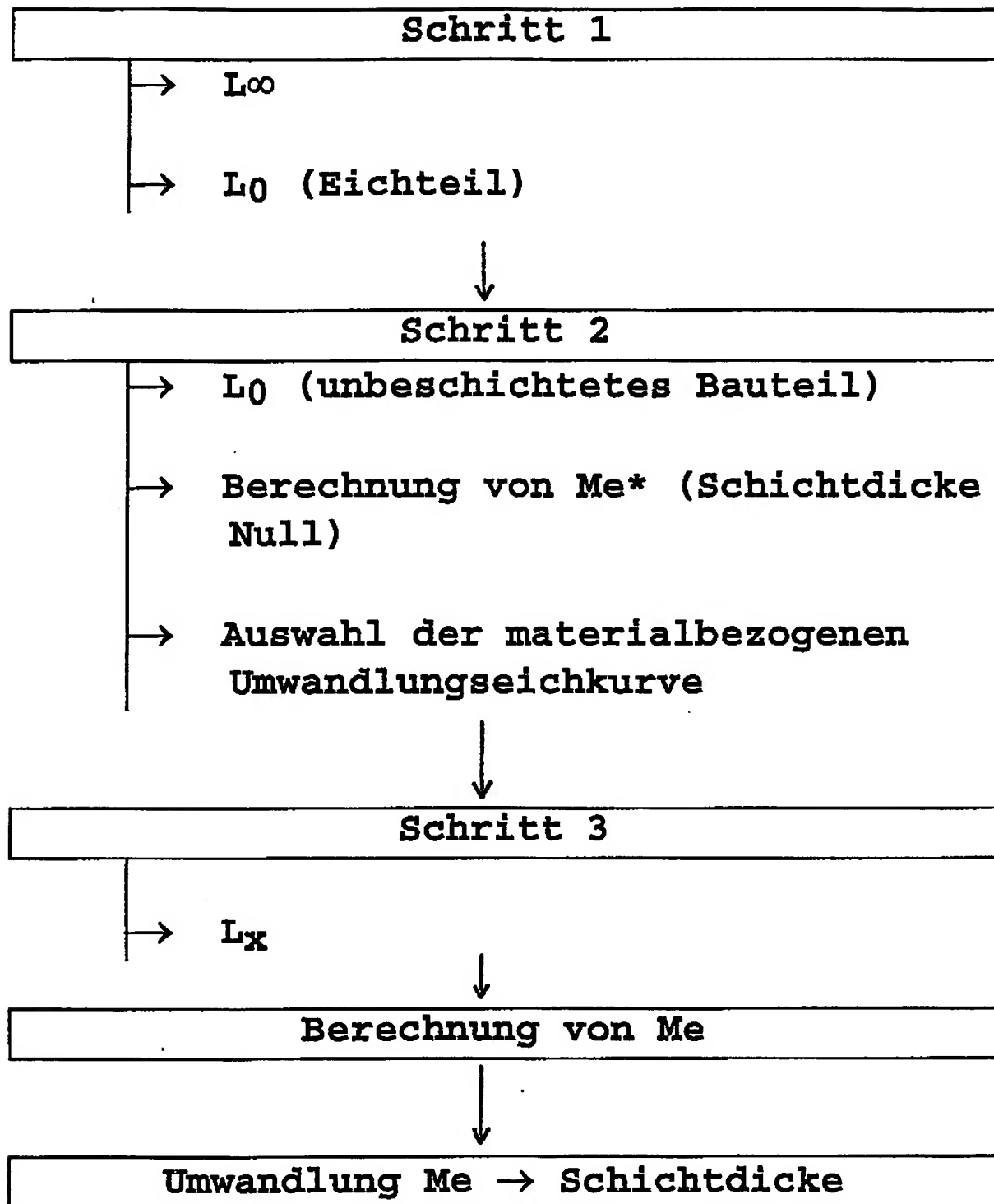


FIG. 6

FIG. 7



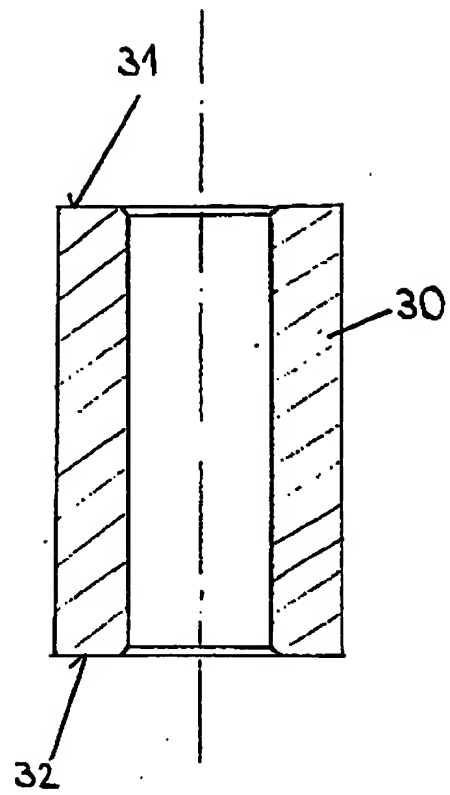


FIG. 8

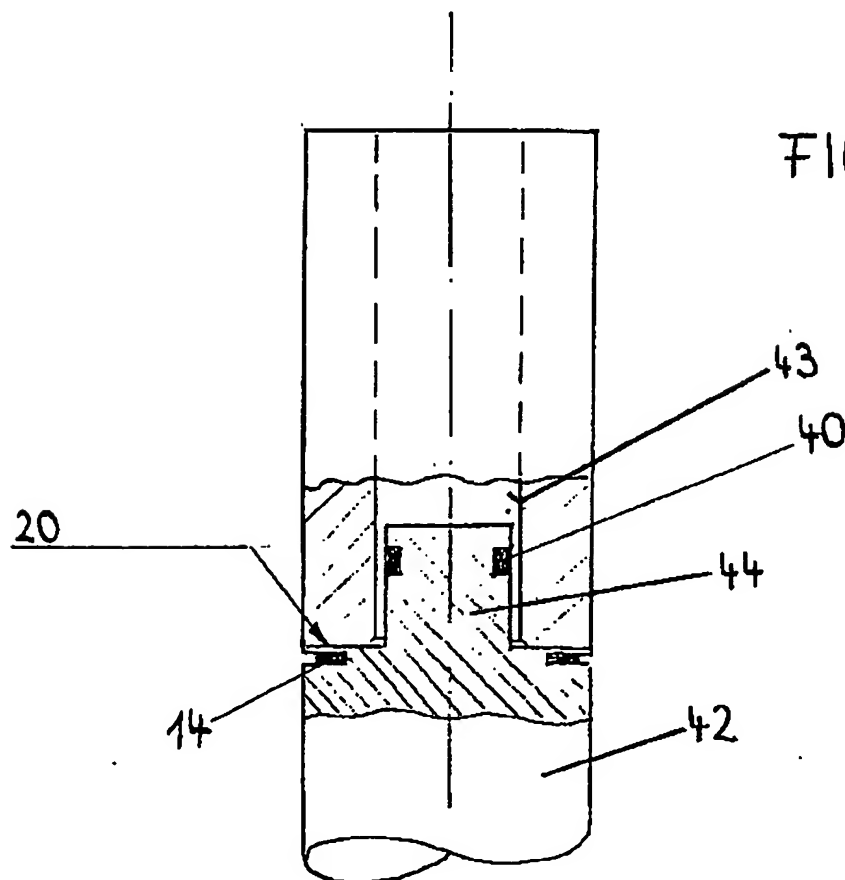


FIG. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.